

Aus dem Institut für Anatomie und Zellbiologie

(Direktor: Prof. Dr. med. Karlhans Endlich)

der Universitätsmedizin der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

**Quantitative Untersuchungen zum Wachstum des Canalis nasolacrimalis
von Japanischen Makaken (*Macaca fuscata*) unter Berücksichtigung
klimatischer Faktoren**

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Zahnmedizin

(Dr. med. dent.)

der

Universitätsmedizin

der

Ernst-Moritz-Arndt-Universität

Greifswald

2018

vorgelegt von

Olga Maria Drygala

geb. am 16. August 1988

in Poznań

Dekan: Prof. Dr. Max P. Baur

1. Gutachter: Prof. Dr. Th. Koppe

2. Gutachter: Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Claassen

Ort, Raum: Ferdinand-Sauerbruch-Straße 42, 17475 Greifswald,
Seminarraum der Klinik für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie/Plastische
Operationen, Raum 4.2.21

Tag der Disputation: 19.11.2018

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Fragestellung.....	1
2. Literaturübersicht.....	3
2.1 Zur Systematik von <i>Macaca fuscata</i>	3
2.2 Entwicklung und Wachstum des Schädels und des Tränennasengangs	7
2.2.1 Entwicklung und Wachstum des Schädels	7
2.2.2 Entwicklung und Wachstum des Tränennasengangs.....	10
2.3 Anatomie, Funktion und Erkrankungen der ableitenden Tränenwege	14
2.3.1 Anatomie der ableitenden Tränenwege	14
2.3.2 Funktionen der ableitenden Tränenwege.....	18
2.3.3 Erkrankungen der ableitenden Tränenwege	20
3. Material und Methoden	23
3.1 Material.....	23
3.2 Methoden.....	26
3.2.1 Computertomographische Schädeluntersuchungen.....	26
3.2.2 Metrische Schädeluntersuchungen	31
3.2.3 Statistische Auswertung	34
4. Ergebnisse.....	36
4.1 Morphologie und Wachstum des Canalis nasolacrimalis von <i>Macaca fuscata</i>	36
4.1.1 Morphologie des Canalis nasolacrimalis.....	36
4.1.2 Volumen des Canalis nasolacrimalis.....	40
4.1.3 Länge des Canalis nasolacrimalis.....	43
4.1.4 Achsenneigung des Canalis nasolacrimalis.....	46
4.1.5 Wachstum des Canalis nasolacrimalis.....	50
4.2 Vergleich des Canalis nasolacrimalis lokaler Populationen von <i>Macaca fuscata</i>	56
4.2.1 Volumen des Canalis nasolacrimalis.....	56
4.2.2 Länge des Canalis nasolacrimalis.....	58
4.2.3 Achsenneigung des Canalis nasolacrimalis.....	60
4.2.4 Vergleich des Canalis nasolacrimalis mit geographischen Daten	64
4.3 Größe des Canalis nasolacrimalis der Faszikularis-Gruppe	67
4.3.1 Volumen des Canalis nasolacrimalis.....	67
4.3.2 Länge des Canalis nasolacrimalis.....	70

4.3.3 Achsenneigung des Canalis nasolacrimalis.....	73
5. Diskussion	77
5.1 Morphologie und Wachstum des Canalis nasolacrimalis.....	77
5.2 Vergleich des Canalis nasolacrimalis lokaler Populationen von <i>Macaca fuscata</i>	82
5.3 Speziesunterschiede des Canalis nasolacrimalis innerhalb der Faszikularis-Gruppe	86
6. Schlussfolgerungen.....	88
7. Zusammenfassung	91
8. Literaturverzeichnis	93
9. Anhang	
Tabellen	
Eidesstattliche Erklärung	
Lebenslauf	
Danksagung	

1. Einleitung und Fragestellung

Die ableitenden Tränenwege sind ein wichtiger Bestandteil des Tränenapparates und verbinden den medialen Augenwinkel mit dem unteren Nasengang. Damit sind sie, neben der Tränendrainage, am Schutzsystem des Auges beteiligt (Dilly 1994, Paulsen 2003). Die exakte Kenntnis dieser anatomischen Strukturen ist von großer Wichtigkeit, da einige Erkrankungen eines chirurgischen Vorgehens bedürfen. Zu den typischen Krankheitsbildern der ableitenden Tränenwege zählen angeborene und erworbene Stenosen, Verletzungen sowie Tumorerkrankungen (Grehn 2008). Während ein persistierender membranöser Verschluss der Hasner-Klappe die häufigste Ursache für die angeborene Tränenwegsstenose ist (Kim et al. 2000, Korkmaz et al. 2013), werden für die Entstehung der primär erworbenen Tränenwegsstenosen zahlreiche Faktoren wie Hormonhaushalt, ethnische Unterschiede, Variationen des Gefäßplexus und bakterielle Besiedlung in Zusammenhang mit dem Lebensraum diskutiert (Narioka and Ohashi 2006, McCornick and Sloan 2009).

Im Gegensatz zum Menschen, gibt es vergleichsweise wenige Studien über die ableitenden Tränenwege von nichtmenschlichen Primaten. Obgleich die Morphologie des Canalis nasolacimalis bereits mehrfach bei nichtmenschlichen Primaten untersucht wurde (Wegner 1936, de los Rios et al. 2012), handelt es sich bei den meisten dieser Arbeiten um Studien an einzelnen Primatenschädeln oder Köpfen. Systematische Untersuchungen unter Berücksichtigung von Wachstumsveränderungen des Canalis nasolacimalis nichtmenschlicher Primaten wurden bisher nicht veröffentlicht. Da der Tränennasengang in enger räumlicher Beziehung zu verschiedenen Strukturen des Gesichtsschädels wie Nasenhöhle, Orbita und Nasennebenhöhlen liegt, gehört er zu den zentralen Strukturen des Gesichtsschädels.

Bei der Phylogenese der Primaten kam es zu weitreichenden Form- und Größenveränderungen des Gesichtsschädels (Moore 1981). Durch die Ausprägung des stereoskopischen Sehens, die Reduktion des Kauapparates sowie die Lageveränderung der Nasenhöhle wurde der Tränennasengang in seiner Morphologie und Lage stark beeinflusst (Swindler and Sirianni 1973, Mouri 1994). In Anbetracht der onto- und phylogenetischen Veränderungen des Tränennasengangs innerhalb der Primatenreihe können detaillierte Kenntnisse über die Morphologie und das Wachstum des Canalis nasolacimalis

nichtmenschlicher Primaten die Einordnung von Verwandtschaftsverhältnissen fossiler Taxa erleichtern (de los Rios et al. 2012, Kirk et al. 2014).

Die vorliegende Untersuchung befasst sich deshalb mit der Morphologie und dem Wachstum des Canalis nasolacimalis von Makaken der Faszikularis-Gruppe und basiert auf der Vermessung von computertomographischen Schichtaufnahmen. Obwohl Makaken der Faszikularis-Gruppe schon mehrfach als Objekt von verschiedenen morphologischen Untersuchungen und Wachstumsstudien dienten (Hamada 1993, Mouri 1994, Koppe and Nagai 1997, Hamada et al. 1999, Rae et al. 2003, German 2004), liegen bisher keine Aussagen zur Morphologie und zum postnatalen Wachstum des Canalis nasolacimalis vor. Da Makaken eine weitläufige geographische Verbreitung aufweisen und verschiedene Habitate mit zum Teil extremen klimatischen Unterschieden bewohnen, eignen sich Makaken auch besonders gut als Modell zur Beurteilung des Einflusses geographischer Parameter auf den Gesichtsschädel.

Im Einzelnen verfolgt die vorliegende Arbeit folgende Ziele:

1. Beschreibung und Vermessung des Canalis nasolacimalis von *Macaca fuscata* anhand von computertomographischen Schichtaufnahmen.
2. Untersuchung des postnatalen Wachstums des Canalis nasolacimalis von *Macaca fuscata* unter Berücksichtigung des Geschlechtsdimorphismus.
3. Untersuchung der Beziehungen zwischen dem Wachstum des Canalis nasolacimalis und ausgewählter Schädelmaßen von *Macaca fuscata*.
4. Untersuchung klimatischer Einflüsse auf die Morphologie des Canalis nasolacimalis von *Macaca fuscata*.
5. Untersuchung der Unterschiede in der Morphologie des Canalis nasolacimalis innerhalb der Faszikularis-Gruppe sowie
6. Darstellung der Bedeutung der vorliegenden Studie.

2. Literaturübersicht

2.1 Zur Systematik von *Macaca fuscata*

Die Ordnung der Primaten umfasst die Strepsirrhini (Feuchtnasenprimaten) und die Haplorrhini (Trockennasenprimaten). Einige gemeinsame Merkmale beider Unterordnungen sind ausgebildete Schlüsselbeine sowie Füße mit einem greiffähigen Großzeh (Geissmann 2003). Die Antropoidea (eigentliche Affen) zählen zu den Haplorrhini und werden in Platyrrhini (Neuweltaffen) und Catarrhini (Altweltaffen) aufgegliedert. Unterschieden werden die Catarrhini ferner in die Hominoidea (menschenähnlichen Affen) und in die Cercopithecoidea (geschwänzten Affen), zu denen die Gattung der Makaken zählt (Geissmann 2003).

Tab. 1: Systematische Einteilung der Gattung *Macaca*, nach Geissmann (2003).

Ordnung: Primates

Unterordnung: Haplorrhini

Überfamilie: Cercopithecoidea

Familie: Cercopithecidae

Unterfamilie: Cercopithecinae

Gattung: *Macaca*

Cercopithecinae, zu denen die Cercopithecini (Meerkatzenartige) und Papionini (Pavianartige) zählen, weisen Backentaschen auf, die sie zur kurzzeitigen Nahrungsspeicherung nutzen (Jones et al. 1993, Schröpel 2012). Die Form der Zähne ist an den Verzehr von Früchten angepasst, da die Incisivi breit sind und die Molaren hohe Höcker aufweisen. Im Gegensatz zu Molaren der Hominoidea, die das typische Dryopithecusmuster besitzen, weisen die Molaren der Cercopithecinae bilophodonte Kronen auf (Swindler 1998). Außerdem ist der Gesichtsschädel länger und schmaler als bei den Colobinae und die Orbitae haben einen geringen Abstand zueinander (Geissmann 2003, Schröpel 2012).

Makaken sind hauptsächlich in Süd- und Ostasien verbreitet. Ihre ursprüngliche Verbreitung auf Nordafrika und Teile von Westeuropa erklärt das Vorkommen von jeweils einer Restgruppe (*Macaca sylvanus*, Berberaffe) im Atlasgebirge Nordwestafrikas und Gibraltar (Roos and Zinner 2015). Makaken sind mittelgroße und robuste Affen mit einer großen Anpassungsfähigkeit, daher ist ihr Vorkommen auch breit gefächert und erstreckt sich von trockenen Savannengebieten, Berg- und Regenwäldern bis hin zu Kulturland und Gebirge (Starck 1995, Geissmann 2003). Der Geschlechtsdimorphismus ist bei Makaken weniger stark ausgeprägt als bei Pavianen oder Mandrillen (Roos and Zinner 2015). Einige Arten leben in großen Gruppen, die bis zu 50 Gruppenmitglieder zählen können und in denen komplexe soziale Beziehungen sowie Weibchen-Hierarchien vorherrschen (Geissmann 2003).

Für die Makakenspezies gibt es verschiedene Gruppeneinteilungen (Tab. 2). Dabei wurden je nach Autor verschiedene Unterscheidungsmerkmale wie Genitalmorphologie, Kopulationsverhalten, Schädel, Dentition und molekulargenetische Merkmale betrachtet (Fooden 1976, Delson 1980, Hoelzer and Melnick 1996, Roos and Zinner 2015). Nach Roos and Zinner (2015) gibt es drei monotypische Gruppen (Sylvanusgruppe, Arctoidesgruppe, Fascicularisgruppe) und vier polytypische Gruppen (Silenusgruppe, Sulawesigruppe, Sinicagruppe, Mulattagruppe).

Der Weißwangemakak (*Macaca leucogenys*) ist in der Tabelle 2 nicht aufgeführt (Li et al. 2015). Während *M.mulatta*, *M.cyclopis* und *M. fuscata* der Faszikularis-Gruppe zugeordnet werden, wird die Zugehörigkeit von *M. fascicularis* unterschiedlich diskutiert (Tab. 2).

Tab. 2: Klassifikation der rezenten Makaken nach Fooden (1976), Delson (1980), Ross and Zinner (2015).

Fooden (1976)	Delson (1980)	Roos and Zinner (2015)
<p>Silenus-Sylvanusgruppe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>M. sylvanus</i> • <i>M. silenus</i> • <i>M. nemestrina</i> • <i>M. tonkeana</i> • <i>M. maura</i> • <i>M. ochreata</i> • <i>M. brunnescens</i> • <i>M. hecki</i> • <i>M. nigrescens</i> • <i>M. nigra</i> <p>Arctoidesgruppe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>M. arctoides</i> <p>Fascicularisgruppe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>M. mulatta</i> • <i>M. cyclopis</i> • <i>M. fuscata</i> • <i>M. fascicularis</i> <p>Sinicagruppe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>M. radiata</i> • <i>M. sinica</i> • <i>M. assamensis</i> • <i>M. thibetana</i> 	<p>Sylvanusgruppe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>M. sylvanus</i> <p>Fascicularisgruppe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>M. mulatta</i> • <i>M. cyclopis</i> • <i>M. fuscata</i> • <i>M. fascicularis</i> <p>Silenusgruppe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>M. silenus</i> • <i>M. nemestrina</i> • <i>M. tonkeana</i> • <i>M. maura</i> • <i>M. ochreata</i> • <i>M. brunnescens</i> • <i>M. hecki</i> • <i>M. nigrescens</i> • <i>M. nigra</i> <p>Sinicagruppe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>M. arctoides</i> • <i>M. radiata</i> • <i>M. sinica</i> • <i>M. assamensis</i> • <i>M. thibetana</i> 	<p>Sylvanusgruppe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>M. sylvanus</i> <p>Arctoidesgruppe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>M. arctoides</i> <p>Fascicularisgruppe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>M. fascicularis</i> <p>Silenusgruppe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>M. silenus</i> • <i>M. nemestrina</i> • <i>M. leonina</i> • <i>M. siberu</i> • <i>M. pagensis</i> <p>Sulawesigruppe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>M. nigra</i> • <i>M. nigrescens</i> • <i>M. hecki</i> • <i>M. tonkeana</i> • <i>M. maura</i> • <i>M. ochreata</i> <p>Mulattagruppe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>M. mulatta</i> • <i>M. cyclopis</i> • <i>M. fuscata</i> <p>Sinicagruppe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>M. sinica</i> • <i>M. radiata</i> • <i>M. munzala</i> • <i>M. thibetana</i> • <i>M. assamensis</i>

Nachfolgend werden die einzelnen Spezies der Faszikularis-Gruppe näher betrachtet, weil sie neben dem Japanischen Makaken ebenfalls im Fokus dieser Arbeit stehen.

Macaca fuscata

Der Rotgesichtsmakak ist auf drei der vier Hauptinseln Japans beheimatet. Dort leben verschiedene Populationen sowohl im Küstengebiet als auch im Hochland, lediglich die Insel Hokkaido gehört nicht zu ihren Lebensräumen. Damit ist sie die am nördlichsten vorkommende Affenart, die auch unter dem Namen „Schneemakak“ bekannt ist (Starck 1995). Ihre Fellfarbe variiert von graubraun bis gelbbraun, ihr Gesicht ist unbehaart und rosa bis rötlich gefärbt. Der vergleichsweise kurze Schwanz ist bei Männchen durchschnittlich 9 cm und bei Weibchen 8 cm lang. Männliche Tiere erreichen eine Kopfrumpflänge von 57 cm bei einem Körpergewicht von 11,3 kg. Weibliche Tiere sind mit 52 cm Kopfrumpflänge bei einem Körpergewicht von 8 kg kleiner und leichter als ihre männlichen Artgenossen (Fooden and Aimi 2005). Dabei ist festzuhalten, dass Tiere aus kälteren Regionen schwerer als Tiere aus wärmeren Regionen sind (Hamada et al. 1999). Die Ernährung der Rotgesichtsmakaken variiert nach Lebensraum und Jahreszeit und besteht vorwiegend aus Früchten. Allerdings dienen auch Nüsse, Blätter, Samen, Pilze, Insekten und Fische als Nahrungsquellen. Besonders in den kalten Wintermonaten, in denen Temperaturen von -15 °C herrschen können, spielt auch Rinde als Nahrungsquelle eine wichtige Rolle (Schröpel 2012).

Macaca fascicularis

Der Javaneraffe ist von Myanmar über Thailand, Vietnam, Kambodscha, Indonesien bis hin zu den Philippinen verbreitet (Starck 1995, Groves 2001). Auf Mauritius, Neuguinea, Hongkong und den Palauinseln wurden diese Tiere vom Menschen eingeführt und haben dort teilweise keine natürlichen Fressfeinde. Der Javaneraffe ist in verschiedenen Waldtypen beheimatet und weist bei seiner Geburt eine schwarze Fellfärbung auf (Rowe 1996). Ab dem dritten Lebensmonat ändert sich die Fellfärbung und nimmt einen graubraunen Farbton an, wobei die Bauchseite heller ist (Fooden 1995, Rowe 1996). Das Gesicht ist braun bis rosa und Tiere beiderlei Geschlechts können Backenbärte oder weiße Zeichnungen an den Augenlidern vorweisen (Rowe 1996). Ein besonders charakteristisches Merkmal ist der 40-65 cm lange Schwanz, der zumeist die Kopfrumpflänge des Tieres übersteigt (Groves 2001). Männliche Tiere erreichen eine Kopfrumpflänge von 41-65 cm bei einem Körpergewicht von 4,7-8,3 kg (Groves 2001).

und haben deutlich größere Eckzähne (Dittus 2004). Ihre weiblichen Artgenossen sind mit einer Körperlänge von 38-51 cm und einem Gewicht von 2,5-5,7 kg kleiner und leichter (Andrade et al. 2004). Die Hauptnahrungsquelle sind Früchte, jedoch nutzen die Javaneraffen die Vielfalt ihrer Lebensräume aus und fressen ebenfalls Samen, Pilze, Schalentiere und Insekten (Son 2003).

Macaca mulatta

Der Rhesusaffe bevölkert tropische und subtropische Wälder Asiens. Sein Verbreitungsgebiet erstreckt sich von Afghanistan bis nach Thailand, Vietnam und Südchina (Strack 1995, Rowe 1996, Smith and McDonough 2005). Das Fell hat einen gelblich-olivbraunen Farbton, Gesicht und Gesäß sind unbehaart und von einer rötlichen Färbung. Sein Schwanz ist 21-23 cm lang (Fooden 2000). Männchen erreichen eine Kopfrumpflänge von 53 cm bei einem Körpergewicht von 7,7 kg und sind größer und schwerer als Weibchen, die 47 cm groß und 5 kg schwer werden (Fooden 2000). Die Hauptnahrungsquelle der Rhesusaffen besteht aus pflanzlichem Material (Früchte, Samen, Baumrinde), ergänzend fressen sie auch Insekten, Schalentiere, Eier und kleine wirbellose Tiere (Rowe 1996).

Macaca cyclopis

Der Rundgesichtsmakak ist in den zentralen Bergketten Taiwans beheimatet. Dort bewohnt er hauptsächlich Koniferen- und Hartholzwälder sowie Bambusdickichte, aber auch offeneres Grasland (Schröpel 2012). In Japan wurden wilde Populationen durch den Menschen eingeführt. Das Fell ist graubraun und an der Bauchseite heller, das Gesicht hat einen bräunlichen Farbton und ist unbehaart. Mit einer Länge von 26-45 cm ist der Schwanz mittellang. Männliche Tiere erreichen eine Kopfrumpflänge von 40-55 cm bei einem Gewicht von 5-6 kg und sind größer und schwerer als weibliche Rundgesichtsmakaken. Sie ernähren sich von Pflanzen, Samen, Insekten und kleinen Wirbeltieren (Schröpel 2012).

2.2 Entwicklung und Wachstum des Schädels und des Tränennasengangs

2.2.1 Entwicklung und Wachstum des Schädels

Wie auch beim Menschen werden Hirn- und Gesichtsschädel der Makaken nach der Art der Ossifikation in Desmokranium und Chondrokranium unterteilt (Schumacher 1997,

Lieberman 2011). Während die Knochen der Schädelbasis zum Chondrokranium gehören, zählen die Knochen von Schädeldach, Nasenhöhle sowie von Ober- und Unterkiefer zum Desmokranium (Schumacher 1997).

Verschiedene Faktoren beeinflussen die ontogenetische und phylogenetische Schädelentwicklung. Die ontogenetische Entwicklung unterliegt genetischen Mechanismen, epigenetischen Faktoren und Umwelteinflüssen (Lieberman 2011). Schumacher (1968, 1997) unterscheidet allgemeine und lokale Faktoren die Einfluss auf die Formgebung des Schädels haben. Zu den allgemeinen Faktoren zählen Genetik, Konstitution, Geschlecht, Hormone, Vitamine, Klima, Psyche, Statik, soziales Milieu und Ernährung. Zu den lokalen Faktoren gehören unter anderem Dentition, mechanische Faktoren, Habits, Zahnverluste, Muskeln, Phonetik, Pneumatisation und Respiration (Abb. 1).

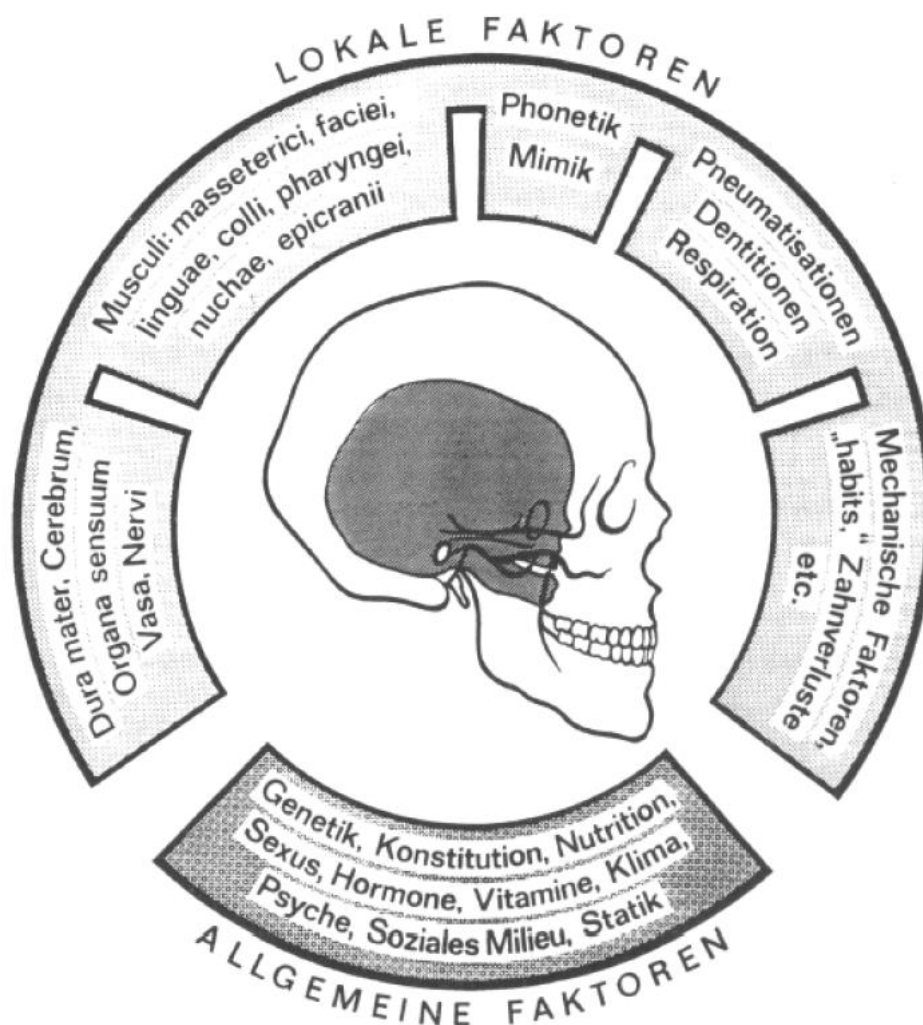


Abb. 1: Einflussfaktoren auf die ontogenetische Formgebung des Schädels (aus Schumacher 1991 mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags).

In der Phylogenese spielt die Abknickung der Schädelbasis eine Schlüsselrolle. Sie ermöglicht durch die Frontalstellung der Augen das stereoskopische Sehen (Ross 1996, Ankel-Simon 2007). Während Ross and Ravosa (1993) die These aufstellten, dass der Erwerb des aufrechten Ganges ursächlich für die Schädelbasisknickung ist, machten Siebert and Swindler (2002) die Volumenzunahme des Gehirns für die Formveränderung verantwortlich. Durch die Schädelbasisknickung wird einerseits das Mittelgesicht rückverlagert, andererseits erfolgt eine Verkürzung von Ober- und Unterkiefer. Darüber hinaus hat die Breite der Schädelbasis einen bedeutenden Effekt auf die Schädelproportionen und zugleich Einfluss auf die Länge und Breite des Gesichts (Lieberman et al. 2000, Lieberman 2011). Des Weiteren diskutieren Fanghänel und Schumacher (1986) den Einfluss der Faktoren Adaptation, Domestikation, Fetalisation, Mimik, Sprache, Ernährung und Arbeit auf die Formveränderung des Schädels (Abb. 2).

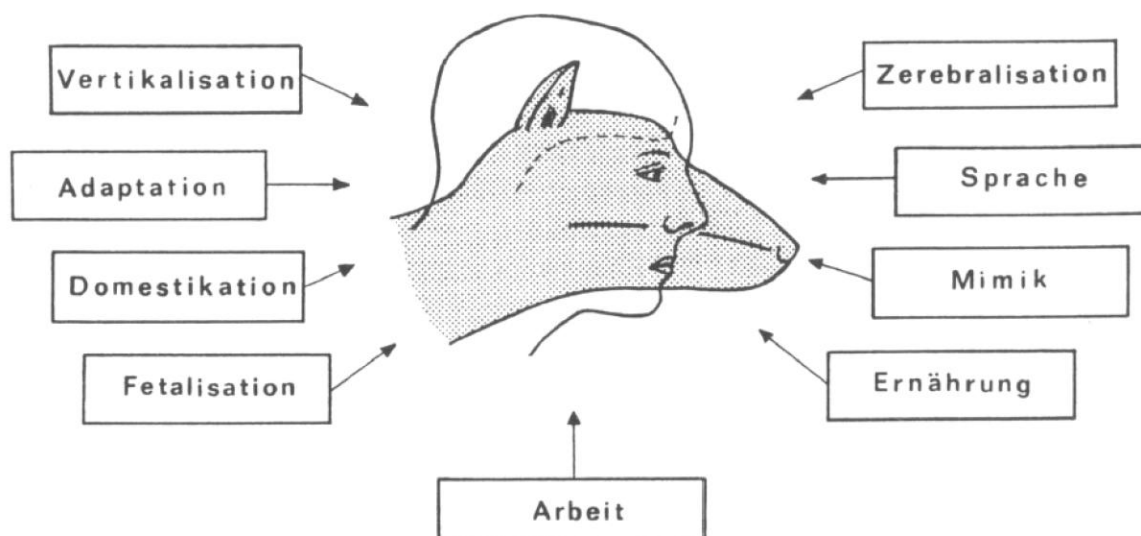


Abb. 2: Phylogenetische Formgebung des Schädels (aus Schumacher 1991 mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags).

Postnatales Schädelwachstum

Das postnatale Schädelwachstum beruht auf komplexen Prozessen des chondralen, suturalen und periostalen Wachstums. Zentren des chondralen Wachstums sind die Synchronosen der Schädelbasis, das knorpelige Nasenseptum, die Unterkiefersymphyse und die Gelenkfläche des Caput mandibulae. Das suturale Wachstum erfolgt durch Knochenapposition an den Knochenrändern der Schädelnähte. Periostales Wachstum geht vom Periost aus und beruht auf dem gegenseitigen Aktivieren von Osteoblasten und

Osteoklasten (Schumacher 1999). Alle drei Wachstumsarten passen sich dem Wachstum der funktionellen Strukturen an. Höhen- und Breitenwachstum sind durch periostale und suturale Vorgänge bestimmt (Siranni and Swindler 1976, Enlow and Hans 1996, Schumacher 1997, 1999).

Ausgehend davon, dass Wachstum durch physiologische Funktionen ausgelöst wird, entwickelte Moss die Theorie der funktionellen Matrix (u.a. Moss and Greenberg 1967). So setzt sich der Gesichtsschädel aus Funktionseinheiten zusammen, die sich gegenseitig im Wachstum beeinflussen. Knorpelige und knöcherne Strukturen bilden die skelettale Einheit, die durch den Einfluss der funktionellen Matrix, die aus der Gesamtheit aller Weichgewebselemente besteht, ausgeformt wird. Dabei haben Umwelteinflüsse Auswirkungen auf die funktionelle Matrix, während die skelettale Einheit in ihrer Entwicklung durch genetische Faktoren bestimmt wird. Lieberman (2011) beschrieb eine Weiterentwicklung dieser Theorie, indem er die Entwicklung des kraniofazialen Systems mit einem epigenetisch integrierten Modell der funktionellen Matrix erklärte. Hierbei beeinflussen sich verschiedene Struktureinheiten mit den dazugehörigen Funktionen durch ihre enge räumliche Lage gegenseitig. Da der Tränennasengang in enger Nachbarschaft zur Kieferhöhle liegt, ist zu vermuten dass sich beide Strukturen stark beeinflussen.

2.2.2 Entwicklung und Wachstum des Tränennasengangs

Die ableitenden Tränenwege werden durch die räumliche Nähe zu zahlreichen Gesichtsstrukturen sowie durch das Wachstum des Gesichtsschädels stark beeinflusst. Deshalb soll die Entwicklung des Gesichts hier kurz skizziert werden. Durch Proliferation mesektodermaler Zellen entstehen Ende der 4. Woche fünf Gesichtswülste, welche die Mundbucht umrahmen. Die obere Begrenzung der Mundbucht wird durch den Stirnnasenwulst gebildet und die seitliche Begrenzung durch die paarigen Oberkiefer- und Unterkieferwülste. Bilateral bilden sich Riechplakoden, indem am Stirnnasenwulst beidseits eine Ektodermverdickung auftritt. Im Randbereich der Riechplakode findet eine Mesenchymproliferation statt. Die Ränder der Riechplakode differenzieren sich zu den medialen und lateralen Nasenwülsten, die sich um die in die Tiefe verlagerte Riechplakode anordnen, sodass eine Riechgrube entsteht. Die Oberkieferwülste vergrößern sich und wachsen nach vorn, erreichen einander jedoch nicht, sondern verschmelzen mit den medialen Nasenwülsten (Hinrichsen 1993).

Die lateralen Nasenwülste hingegen bleiben im Wachstum zurück und werden von den Oberkieferwülsten durch eine schräge Furche, die Tränennasenfurche, getrennt. Aus den epithelialen Zellen der Tränennasenfurche entsteht ein Strang, der die Verbindung zur Oberfläche verliert und im Mesenchym eingebettet wird. Indem eine Kanalisierung des Stranges erfolgt, wird der Tränennasengang gebildet. Durch Erweiterung des oberen Stranges entsteht der Tränensack. Das untere Ende verbindet sich mit der Nasenschleimhaut und mündet im Meatus nasi inferior (Lang 1979, Moore et al. 1996). Pränatal ist die Schleimhautfalte an der Mündungsstelle, der Hasner-Klappe, verschlossen und öffnet sich spontan bei der Geburt. Jedoch bleibt bei 4-6 % der Neugeborenen eine Spontanöffnung aus, sodass eine kongenitale Tränengangsstenose die Folge ist (Korkmaz et al. 2013). Ein erworbener Verschluss des Tränennasengangs ist ebenfalls möglich.

Obwohl die Entwicklung des Tränennasengangs beim Menschen am besten dokumentiert ist, können zugrunde liegende Entwicklungsprozesse auf andere Primaten übertragen werden (Enlow 1966, Rossie and Smith 2007). Enlow (1966) zeigte, dass Menschen und Makaken vergleichbare Schädelwachstumsmuster aufweisen. Bei der Untersuchung des Ductus und Canalis nasolacimalis bei Strepsirrhini (Lemuriformes, Loridae, Galagidae) und Haplorrhini (Tarsiidae, Anthropoidae) zeigten Rossie and Smith (2007) anhand von Wachstumsreihen, dass der Ductus nasolacimalis bei Strepsirrhini im Mündungsbereich zunächst horizontal verläuft. Dieser horizontale Abschnitt bleibt über alle Altersgruppen hinweg erhalten. Bei Haplorrhini ist dieser horizontale Abschnitt des Ductus nasolacimalis nur vorübergehend vorhanden. Innerhalb des Wachstums erfolgt eine Aufrichtung der Achse des Ductus nasolacimalis, die zum Wachstumsende nur noch in vertikaler Richtung verläuft. Rossie and Smith (2007) sahen in der strukturellen Neuordnung von Schnauze und Nasenhöhle den Grund für diese Veränderung.

Während bei Strepsirrhini der Tränennasengang im anterioren Bereich des Vestibulum nasi mündet und an der Befeuchtung des Nasenspiegels beteiligt ist, weisen Haplorrhini eine verkürzte Schnauze auf (Hofer 1980, Starck 1984). Diese bedeutende Strukturänderung hat Einfluss auf den Verlauf des Tränennasengangs, der bei Haplorrhini weiter kaudal in das Nasenvestibulum mündet. Ferner wird ein Zusammenhang zwischen der Lage der Mündungsstelle des Tränennasengangs und der Ausprägung des Vomeronasalorgans beschrieben. Liegt die Mündungsstelle des Tränennasengangs weiter posterior im

Nasenvestibulum, wurde eine Reduktion des Vomeronasalorgangs beobachtet (Hillenius and Rehorek 2005, Rossie and Smith 2007, de los Ríos et al. 2012).

Postnatales Wachstum des Tränennasengangs

Das postnatale Wachstum der Tränenwege ist aufgrund der räumlichen Nähe eng mit dem Mittelgesichtswachstum verknüpft. Während bei Kindern der Gesichtsschädel relativ kurz und der Gehirnschädel groß ist, verschiebt sich bei Erwachsenen dieses Verhältnis bekanntlich zugunsten des Gesichtsschädels (Verwoerd and Verwoerd-Verhoef 2010). Besonders das Nasenhöhlenwachstum beeinflusst die Form des Canalis nasolacrimalis, da die mediale Wand des Kanals durch das Knorpelskelett der Nasenhöhle gebildet wird und erst postnatal ossifiziert (Rehorek et al. 2015). Hall (1926) beschrieb die Nahrungsumstellung von flüssiger zu fester Nahrung als mutmaßliche Ursache für das Wachstum der Nasenhöhle, indem mit zunehmenden Kaukräften das knorpelige Nasenskelett verstärkt und umgebaut wird.

Die Konsistenz der Nahrung spielt für die postnatale Ausformung des Gesichtsschädels eine große Rolle. Eine Untersuchung an zwei Gruppen von Totenkopffäffchen zeigte, dass die Gruppe, die ausschließlich mit weicher Kost gefüttert wurde, deutliche Unterschiede in der Gesichtsschädelmorphologie gegenüber der Gruppe aufwies, die sich von harter Nahrung ernährte (Corruccini and Beecher 1982). Lieberman et al. (2004) äußerten die These, dass eine Ernährungsumstellung von roher zu gekochter und weicher Nahrung deutliche Änderungen in der Gesichtsschädelmorphologie des Menschen verursacht, da weniger Kaukräfte notwendig sind um die Nahrung zu zerkleinern. Neben der Nahrungsmittelkonsistenz spielt auch die Kaumuskulatur eine wichtige Rolle in der Formgestaltung des Gesichtsschädels. Untersuchungen an Patienten mit Muskeldystrophie zeigten deutliche Formabweichungen des Gesichtsschädels gegenüber einer gesunden Kontrollgruppe (Kiliaridis et al. 1989). Ein ähnlicher Zusammenhang konnte kürzlich bei Mäusen mit Muskeldystrophie nachgewiesen werden (Spasov et al. 2017).

Weitere Faktoren wie das Klima beeinflussen ebenfalls die Morphologie des Gesichtsschädels. Shea (1977) zeigte den klimatischen Einfluss auf das Volumen von Kiefer- und Nasenhöhle anhand von Eskimopopulationen. Populationen aus kälteren Regionen weisen ein größeres Volumen der Nasenhöhle bei gleichzeitiger Reduktion der Kieferhöhlen auf. Da der Sinus maxillaris in enger Nachbarschaft zum Canalis

nasolacrimalis liegt, ist zu vermuten dass das Klima auch die Beziehung beider Strukturen zueinander beeinflussen kann.

Zwar werden viele Strukturen des Gesichtsschädels bereits pränatal ausgebildet, jedoch treten eine Vielzahl von Unterschieden erst postnatal in der fazialen Ontogenese auf, wie Cobb and O'Higgins (2004) bei den großen Menschenaffen zeigen konnten. Abbildung 3 stellt mögliche Faktoren dar, welche die Morphologie des Tränennasengangs in der Postnatalperiode beeinflussen. Diese Zusammenstellung basiert auf der Auswertung solcher Faktoren, die das Schädelwachstum im Allgemeinen (Fanghänel und Schumacher 1986, Schumacher 1999, Ross 1996, Ankel-Simons 2007, Smith et al. 2007) als auch das des Tränennasengangs im Besonderen beeinflussen können (Hillenius and Rehorek 2005, Rossie and Smith 2007). Obgleich unseres Wissens nach keine Studien über den Einfluss der Psyche auf das Wachstum des Tränennasengangs existieren, kann die Psyche als Faktor des Schädelwachstums nicht ausgeschlossen werden (Fanghänel und Schumacher 1986). Bezüglich des Tränennasengangs sei jedoch auch darauf verwiesen, dass emotional bedingte Epiphora ein Anschwellen des Schwellkörpergewebes des Tränennasengangs bewirken kann (Pausen 2008), sodass eine Auswirkung auf die Morphologie der ableitenden Tränenwege ebenfalls denkbar ist.

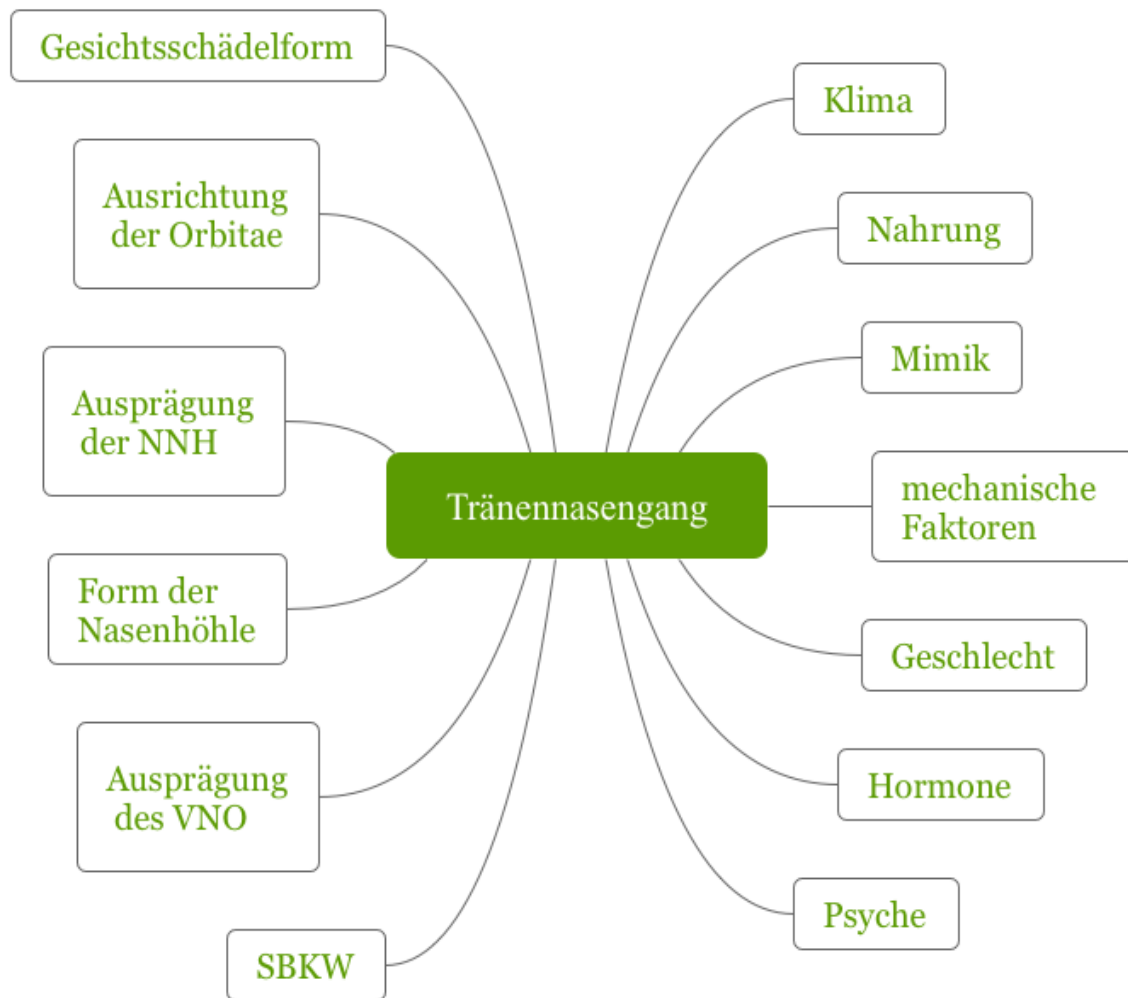


Abb. 3: Mögliche Faktoren, welche die Morphologie des Tränennasengangs beeinflussen
 NNH: Nasennebenhöhlen, VNO: Vomeronasalorgan, SBKW: Schädelbasisknickungswinkel.

2.3 Anatomie, Funktion und Erkrankungen der ableitenden Tränenwege

2.3.1 Anatomie der ableitenden Tränenwege

Der Tränenapparat besteht aus den Tränendrüsen und den ableitenden Tränenwegen. Neben den Tränendrüsen (Glandulae lacrimales) tragen verschiedene akzessorische Tränendrüsen zur Produktion des präkornealen Tränenfilms bei. Dazu zählen die Glandulae tarsales, die Glandulae ciliares conjunctivales sowie die Glandulae lacrimales accessoriae. Die Glandula lacrimalis produziert die Tränenflüssigkeit, welche durch den Lidschlag gleichmäßig über das Auge verteilt wird und den Tränenfilm bildet. Der M. orbicularis oculi kontrahiert bei Lidschluss und spielt eine wichtige Rolle beim

Abtransport der Tränenflüssigkeit, auf den später näher eingegangen wird. Paulsen (2003, 2008) unterteilte die ableitenden Tränenwege in einen knöchernen und einen membranösen Anteil. Diese Unterteilung wird im folgenden Abschnitt aufgegriffen.

Knöcherner Anteil der ableitenden Tränenwege

Die durchschnittliche Länge des menschlichen Canalis nasolacimalis wurde von verschiedenen Autoren untersucht. So gaben Truchot et al. (1952) für die Länge des Kanals bei Männern 10 mm an, Paulsen (2008) 12,4 mm und Groell et al. (1997) 12-18 mm. Für die Länge des weiblichen Canalis nasolacimalis gaben Ramey et al. (2013) 10,8 mm an. Kolmer und Lauber (1936) wiesen darauf hin, dass seine Länge mit der Schädelform variiert. So zeigt der Tränennasengang bei dolichocephalen Schädeln größere Werte als bei brachycephalen Schädeln. Für den Durchmesser des Canalis nasolacimalis geben verschiedene Autoren unterschiedliche Werte an, die zwischen 4,6 mm (Duke-Elder 1946), 4,8 mm (Steinkoegler et al. 1986) und 5 mm (Unlü et al. 1997) variieren. Janssen et al. (2001) deuten in diesem Zusammenhang auf einen Geschlechtsdimorphismus hin, wobei Frauen einen Minstdurchmesser von 3,35 mm und Männer einen von 3,7 mm aufweisen. Untersuchungen weiterer Autoren bestätigten, dass der Durchmesser des Canalis nasolacimalis bei Frauen enger ist als bei Männern (Shigeta et al. 2007, McCornick and Sloan 2009, Fasina and Ogbole 2013).

Kranial werden die knöchernen Anteile der Fossa sacci lacimalis durch die Crista lacimalis anterior des Processus frontalis maxillae, dorsal durch die Crista lacimalis posterior des Os lacrimale begrenzt. Der kaudale Abschnitt des Canalis nasolacimalis wird medial vom Processus lacimalis der Concha nasalis inferior und lateral vom Sulcus lacimalis maxillae begrenzt (Hafferl 1957, Lang 1979, Janssen et al. 2001).

In seinem Verlauf weist der Canalis nasolacimalis verschiedene Nachbarschaftsbeziehungen auf. Enge topographische Beziehungen bestehen oben zur Orbita, lateral zum Sinus maxillaris, medial zu den Siebbeinzellen sowie zur Cavitas nasi. Das vordere Siebbein und der Agger nasi reichen unterschiedlich weit nach anterior im Verhältnis zu den ableitenden Tränenwegen (Hosemann und Fanghänel 2005). Der Kanal mündet unterhalb der unteren Nasenmuschel in den Meatus nasi inferior (Hafferl 1957, Lang 1979). Putz (1971) definierte sechs verschiedene Mündungstypen bei Neugeborenen:

1. seichte Mündung
2. tiefe Mündung
3. perforierte, blasig vorgewölbte Membran
4. straffe Membran mit Längsspalten
5. geschlossene, blasig vorgewölbte Membran
6. straffe Membran

Der Canalis nasolacrimalis verläuft beim Erwachsenen in einem Winkel von 15-20° nach dorsal und variiert nach dem Gesichtstyp (Müller 1980). Bei einer Betrachtung in der Sagittalebene unterschied Eisler (1930) drei Lagetypen der Achse des Canalis nasolacrimalis im Verhältnis zur Margo supraorbitalis (Abb. 4). Hierbei bezog sich Eisler (1930) auf die unterschiedlichen Orbitaformen. Bei hypsikonchen Orbitae verläuft die Verlängerung der Längsachse vor der Margo supraorbitalis, bei mesokonchen Orbitae trifft die Achse an die Margo supraorbitalis und bei hysikonchen Orbitae hinter die Margo supraorbitalis (Eisler 1930).

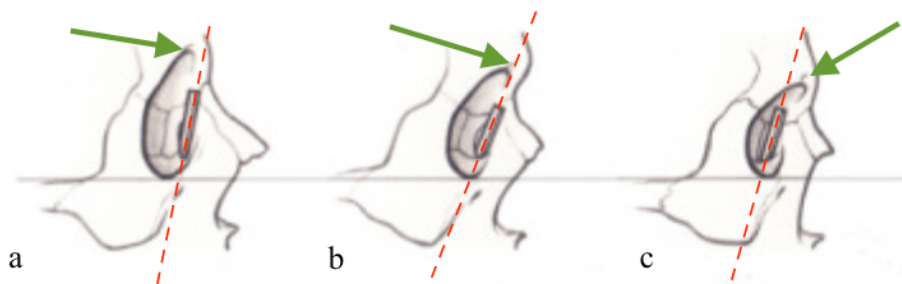


Abb. 4: Darstellung eines menschlichen Schädels in der Sagittalebene. Die grünen Pfeile markieren die Margo supraorbitalis, die rot gestrichelte Linie die Längsachse des Canalis nasolacrimalis. a: hypsikonche Orbitae b: mesokonche Orbitae c: hysikonche Orbitae (aus Lang 1979, Praktische Anatomie: Kopf, Gehirn- und Augenschädel, mit freundlicher Genehmigung vom Springer-Verlag).

Achsenlage des Canalis nasolacrimalis bei Primaten

Rossie et al. (2006) untersuchten anhand eines fossilen Primaten (*Tarsius eocaenus*) verschiedene Schädelstrukturen und verglichen sie mit weiteren fossilen Primatenspezies. Auf der Basis dieser Analyse kamen Rossie and Smith (2007) in Untersuchungen an 88 Primatenspezies zu der Überzeugung, dass die verschiedenen Ausprägungen des Canalis nasolacrimalis eine Möglichkeit bieten können, die Verwandtschaftsverhältnisse unterschiedlicher Primatenspezies zu differenzieren. De los Ríos et al. (2012) und Kirk et

al. (2014) griffen diese These auf und untersuchten weitere fossile Primaten. Sowohl de los Ríos et al. (2012) als auch Kirk et al. (2014) bestätigten die Untersuchungen von Rossie and Smith (2007) und hoben hervor, dass die Ausrichtung des Canalis nasolacimalis eine Grundlage zur Einschätzung von Verwandtschaftsverhältnissen fossiler Taxa bietet. Basierend auf diesen Untersuchungen weist der Canalis nasolacimalis bei fossilen Primaten in der Sagittalebene folgende Verlaufsformen auf: (1) vertikal, (2) schräg nach hinten, (3) schräg nach vorn.

Beim Menschen liegt eine schräg nach hinten gerichtete Achsenneigung vor, bei der die Mündung im unteren Nasengang weiter hinten liegt als der kraniale Eingang (Lang 1979, Janssen et al. 2001, Raikos et al. 2015). Bei *Gorilla* ist der Verlauf des Canalis nasolacimalis vertikal und zur Bulla nasolacimalis erweitert (Bolk 1917, Wegner 1936, Cave and Haines 1940). Bei *Pan* liegt ebenfalls eine vertikale Achsenneigung des Canalis nasolacimalis vor, während bei *Pongo* ausgehend von dem Niveau des orbitalen Eingangs, eine schräg nach vorne gerichtete Achsenneigung zu beobachten ist (de los Ríos et al. 2012). Unseres Wissens nach existieren noch keine Untersuchungen zur Achsenneigung des Canalis nasolacimalis bei Makaken.

Membranöser Anteil der ableitenden Tränenwege

Zum membranösen Anteil gehören die Tränenkanälchen (Canaliculi lacrimales), der Tränensack (Saccus lacrimalis) sowie der Tränennasengang (Ductus nasolacimalis) (Janssen et al. 2001, Paulsen 2003, 2008). Der Verlauf des Ductus nasolacimalis wird grundsätzlich durch die knöchernen Strukturen des Canalis nasolacimalis bestimmt. Dass die durchschnittliche Länge des Ductus nasolacimalis beim Menschen 20-25 mm beträgt und somit einen längeren Verlauf aufweist als die des knöchernen Canalis nasolacimalis, beschrieb Paulsen (2003). Das Volumen des Ductus nasolacimalis ist bei Männern größer als bei Frauen (Estes et al. 2015).

Ausführliche Untersuchungen über den feingeweblichen Aufbau der ableitenden Tränenwege lieferten Thale et al. (1998) und insbesondere Paulsen (2008). Paulsen (2008, p. 339) schilderte den histologischen Aufbau wie folgt: „Die Tränenkanälchen (Canaliculi lacrimales) sind von mehrschichtig unverhorntem Plattenepithel ausgekleidet und werden von einem dichten Bindegewebsring sowie Muskelbündeln der Pars lacrimalis des M. orbicularis oculi (M. tensor tarsi, Horner-Muskel) umkeidet. Tränensack und

Tränennasengang werden von einem zweireihigen Epithel mit einer Basalzellschicht und einer darüber liegenden Schicht hochprismatischer Epithelzellen ausgekleidet. Die Epithelzellen verfügen über einen dichten Besatz mit Mikrovilli.“ Die Wand des Tränensack und des Tränennasengangs wird von einem spiralförmigen Wickelsystem aus Kollagenfasern und elastischen Fasern gebildet (Rohen 1953, Paulsen 2008).

Unter physiologischen Bedingungen kontrahiert die Pars lacrimalis des M.orbicularis oculi während des Lidschlusses. Bedingt durch die Verankerung der Mündung des Tränennasengangs am Periost, wird eine Dehnung des Fornix des Tränensacks in kranial-laterale Richtung bewirkt. Durch diesen Mechanismus wird ein sogenanntes Auswringen des Tränensacks und des Tränennasengangs durch die helikalförmige Anordnung von Kollagenfibrillen und elastischen Fasern ermöglicht und dabei die Tränenflüssigkeit abgeleitet (Thale et al. 1998, Paulsen 2008). Innerhalb des sogenannten Wickelsystems aus kollagenen und elastischen Fasern beobachtete Paulsen (2008) einen Gefäßplexus mit Sperrarterien und Drosselvenen, vergleichbar mit einem Schwellkörper, der kaudal in das Schwellgewebe der unteren Nasenmuschel übergeht.

2.3.2 Funktionen der ableitenden Tränenwege

Die ableitenden Tränenwege drainieren die Tränenflüssigkeit vom Auge in die Nasenhöhle. Dieser komplexe Mechanismus ist nur teilweise verstanden. Diskutiert wird, ob es zu Veränderungen der Zusammensetzung der Tränenflüssigkeit bei der Passage durch die ableitenden Tränenwege kommt (Paulsen 2008).

Der Tränenfilm besteht aus einer wässrigen, einer mukösen und einer Lipidkomponente (Wolff 1954). Die äußere Lipidschicht wird von den Glandulae tarsales produziert und stabilisiert den Tränenfilm. Die mittlere wässrige Schicht wird von der Glandula lacrimalis gebildet und die an die Cornea angrenzende Muzinschicht wird von Becherzellen der Bindehaut hergestellt. Bei Lidschluss wird der laterale Lidwinkel nach medial und unten gezogen und zugespitzt. Das Unterlid wird nasal angehoben, temporal leicht gesenkt und medialwärts schräg aufwärts bewegt. Das Oberlid wird vertikal gesenkt und medialwärts geführt. Durch den Lidschluss wird der Bulbus in die Orbita verschoben und somit der Lidapparat gestrafft. Der Lidspalt schließt sich von lateral nach medial und leitet so die Tränenflüssigkeit den ableitenden Tränenwegen zu (Rohen 1953).

Der Tränenabtransport durch die Tränenkanälchen beginnt im medialen Augenwinkel an den Puncta lacrimalia. Untersuchungen von Rohen (1953) zufolge wirkt die Muskulatur des M. orbicularis oculi bei Lidschluss als Saug- und Druckpumpe, sodass der Abtransport der Tränenflüssigkeit in den Tränensack begünstigt wird. Indem bei Lidschluss der M. orbicularis oculi kontrahiert und die Canaliculi verschließt, werden diese nach innen gekippt, sodass sie in den Tränensee eintauchen. Gleichzeitig erweitern sich die Canaliculi und es entsteht ein negativer Druck. Im Anschluss erschlafft der Muskel bei Lidöffnung und die Tränenflüssigkeit wird in den Tränensack gewissermaßen „gesaugt“ und schließlich über den Tränennasengang in die Nasenhöhle abgeleitet (Rohen 1953, Becker 1992). Darüber hinaus spielt die kapilläre Wirkung der Canaliculi eine Rolle beim Tränenabtransport (Rohen 1953, Jones 1958, Paulsen 2008).

Ayub et al. (2003) platzierten in einem ihrer Experimente bei 30 erwachsenen Probanden einen Fremdkörper im Bindehautsack, um den Einfluss des Schwellkörpers auf den Tränenfluss beim Menschen zu verdeutlichen. Durch die Wirkung des Schwellkörpergewebes während des Lidschlussreflexes wird der Tränenabfluss maßgeblich beeinflusst. Wird durch Fremdkörperkontakt am Bindehautsack der Lidschlussreflex ausgelöst, kommt es zu einer erhöhten Produktion von Tränenflüssigkeit und zum Blutstau im Gefäßplexus des Schwellkörpergewebes. Dadurch verengt sich das Lumen des Tränennasengangs, sodass kein Tränenabfluss mehr möglich ist und der Fremdkörper hinausgespült werden kann (Paulsen et al. 2000). Ein ähnlicher Mechanismus ist bei emotional bedingter Epiphora zu beobachten. Paulsen (2008, p. 342-344) beschreibt diesen wie folgt: „Die cholinerge Innervation der spezialisierten Blutgefäße des Schwellkörpers führt zu einem Verschluss des Lumens von Drosselvenen mit einer Reduktion des Blutabflusses. Konsekutiv kommt es zu einem „Anschwellen“ des submukösen Schwellkörpers mit Verschluss der Tränenpassage. Eine adrenerge Innervation der Blutgefäße des Schwellkörpers führt zu einer entgegengesetzten Reaktion mit Rückgang der submukösen Schwellung und Erweiterung der Tränenpassage.“

Neben dem oben beschriebenen Schutzsystem und der Tränendrainage ist die Beteiligung an der Immunabwehr eine weitere Funktion der ableitenden Tränenwege (Dilly 1994, Sullivan 1999). Ihre Mukosa ist mit verschiedenen spezifischen und unspezifischen Abwehrsystemen ausgestattet. Die Epithelzellen produzieren unterschiedliche

antimikrobielle Substanzen (u.a. β -Lysin, Laktoferrin, Lysozyme, Defensine) zudem sind Abwehrzellen (wie Lymphozyten und Makrophagen) vorhanden (Haynes et al. 1999). Darüber hinaus konnten Immunglobulin A sowie organisiertes lymphatisches Gewebe mit Merkmalen von mukosaassoziiertem lymphatischem Gewebe (MALT, hier TALT: „tear duct-associated lymphoid tissue“) nachgewiesen werden (Knop and Knop 2000, Sirigu et al. 2000, Paulsen 2008).

Ableitende Tränenwege und ihre Funktion bei verschiedenen Spezies

Paulsen (2003) untersuchte die ableitenden Tränenwege bei verschiedenen Säugetieren, darunter auch *Macaca mulatta*. Die Tatsache, dass der Rhesusaffe ein Mitglied der Faszikularis-Gruppe ist, lässt vermuten, dass die Morphologie der ableitenden Tränenwege bei anderen Makaken dieser Gruppe ähnlich ist. Wie der Mensch besitzt der Rhesusaffe Canaliculi, die in den Tränensack münden. Bei den anderen von Paulsen (2003) untersuchten Tieren (Kaninchen, Ratte, Katze, Schwein, Reh) münden die Canaliculi direkt in den Ductus nasolacrimalis. Die größte Ähnlichkeit der Morphologie von Epithel und Schwellkörper in Bezug auf den Menschen konnte bei Kaninchen nachgewiesen werden. Trotz dieser großen Ähnlichkeit lassen sich nicht alle Eigenschaften der ableitenden Tränenwege des Kaninchens auf das des Menschen übertragen, so blinzelt der Mensch sehr viel häufiger als das Kaninchen (Paulsen et al. 2002).

Frame and Burkat (2009) verglichen in einer Literaturstudie die ableitenden Tränenwege verschiedener Säugetiere und prüften inwiefern Ähnlichkeiten zu den menschlichen Tränenwegen bestehen. Außerdem untersuchten sie zwei histologische Präparate der ableitenden Tränenwege von *Macaca fascicularis* (ebenfalls Mitglied der Faszikularis-Gruppe der Makaken) mithilfe eines Lichtmikroskops. Auch Frame and Burkat (2009) bestätigen eine große Ähnlichkeit der ableitenden Tränenwege des Kaninchens zu denen des Menschen. Jedoch vermuten die Autoren, dass *Macaca fascicularis* aufgrund der hohen lichtmikroskopischen Ähnlichkeit, ein geeigneteres Tiermodell sein könnte.

2.3.3 Erkrankungen der ableitenden Tränenwege

Erkrankungen der ableitenden Tränenwege können verschiedene Ursachen haben und gehen häufig mit Epiphora einher (Grehn 2008). Sie können angeboren oder erworben sein. Interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Ophthalmologie, Oto-Rhino-

Laryngologie und Radiologie sowie genaue Kenntnisse der anatomischen Region, sind deshalb von besonderer Wichtigkeit.

Anhand ihrer Entstehung werden Tränenwegstenosen in kongenitale und in erworbene Stenosen unterteilt. Besonders häufig sind dabei die folgenden physiologischen Engstellen der ableitenden Tränenwege betroffen (Meyer-Rusenberg and Emmerich 2010, Amin et al. 2013): (1) Canaliculus communis, (2) Übergang zwischen Tränensack und Ductus nasolacrimalis und (3) Mündungsstelle im unteren Nasengang (Hasner-Klappe) (Koch et al. 2015).

Kongenitale Stenosen

Bei den Neugeborenen leiden 4-6 % unter einer angeborenen Tränenwegstenose. Dabei besteht ein Zusammenhang zu Septumdeviationen, kraniofazialen Anomalien und dem Down-Syndrom (Korkmaz et al. 2013, Raikos et al. 2015). Die häufigste Ursache ist jedoch ein persistierender membranöser Verschluss der Hasner-Klappe (Kim et al. 2000, Korkmaz et al. 2013). In den ersten Wochen nach der Geburt kommt es dabei zu einem Sekretrückstau mit Tränenträufeln. Pusaustritt am medialen Augenwinkel ist ebenfalls möglich (Grehn 2008). In 85-95 % der Fälle erfolgt eine Spontanöffnung innerhalb des ersten Lebensjahres (Kim et al. 2000, Korkmaz et al. 2013). Bleibt die Spontanöffnung aus, ist in den meistens Fällen eine gezielte Beseitigung der Stenose erforderlich (Korkmaz et al. 2013).

Erworbene Stenosen

Primär erworbene Stenosen des Ductus nasolacrimalis (primary acquired nasolacrimal duct obstruction; PANDO) sind der häufigste Grund für Epiphora. Frauen sind häufiger betroffen als Männer, ebenso wie Patienten höheren Alters (Groessl et al. 1997, Olver 2002). Sowohl McCornick and Sloan (2009) als auch Fasina and Ogbole (2013) zeigten, dass der Durchmesser des Canalis nasolacrimalis kein signifikanter Faktor für die Entstehung von PANDO ist. Die Ätiologie ist weitgehend ungeklärt und es werden zahlreiche Ursachen wie Hormonhaushalt, ethnische Unterschiede, Variationen des Gefäßplexus und bakterielle Besiedlung in Zusammenhang mit dem Lebensraum diskutiert (Narioka and Ohashi 2006, McCornick and Sloan 2009).

Sekundär erworbene Stenosen des Ductus nasolacrimalis haben verschiedenste Ursachen.

Bis zu 20 % treten sie nach Operationen im Nasen- und Nasennebenhöhlenbereich auf, aber auch Traumata wie Autounfälle oder Hundebissverletzungen können Stenosen zur Folge haben (Klauß 2002). Entzündliche systemische Erkrankungen wie Sarkoidose und Granulomatose mit Polyangitis können eine mögliche Ursache darstellen. Neoplasien sind selten und schwer zu diagnostizieren, da sie in Bezug auf die klinische Symptomatik einer chronischen Dakryozystitis ähneln (Lee-Wing and Ashenurst 2001, Sjö et al. 2006).

Zu kongenitalen oder erworbenen Tränenwegsstenosen bei nicht-menschlichen Primaten existiert bislang keine Literatur.

3. Material und Methoden

3.1 Material

Das Material entstammt dem Primate Research Institute, Kyoto University Japan und wurde in dieser Arbeit in drei Gruppen unterteilt. Es umfasst Schädel von freilebenden als auch von Zootieren. Im ersten Teil der Arbeit wurden die morphologischen Veränderungen des Canalis nasolacrimalis innerhalb einer Wachstumsreihe von Japanischen Makaken (*Macaca fuscata*) untersucht. Diese Untersuchung erfolgte an 29 Schädeln von männlichen und weiblichen Tieren. Die Tiere wurden anhand des Dentitionstandes nach Iwamoto et al. (1984, 1987) und Mouri (1994) in vier postnatale Altersgruppen eingeteilt (Tab. 3).

Tab. 3: Einteilung der Schädel von *Macaca fuscata* nach Alter und Dentition.

Altersgruppe	Dentitionsstand
AG 1	Milchgebiss bis Durchbruch der ersten permanenten Molaren (Geburt-2. Lebensjahr)
AG 2	vollständig durchgebrochene Schneidezähne und permanente zweiten Molaren (2.-4. Lebensjahr)
AG 3	vollständig durchgebrochene Prämolaren (4-4,5 Lebensjahr bei weiblichen Tieren, 4-4,75 Lebensjahr bei männlichen Tieren)
AG 4	vollständig durchgebrochenes permanentes Gebiss (ab 4,5. Lebensjahr bei weiblichen Tieren, ab 4,75 Lebensjahr bei männlichen Tieren)

AG: Altersgruppe

Tabelle 4 zeigt die Verteilung der Schädel von *Macaca fuscata* bezüglich der Altersgruppe und des Geschlechts.

Tab. 4: Aufschlüsselung der Schädel von *Macaca fuscata* nach Altersgruppe und Geschlecht.

Altersgruppe	männlich	weiblich
1	3	3
2	3	3
3	4	4
4	5	4

Im zweiten Teil der Arbeit wurden fünf verschiedene Populationen von *Macaca fuscata* untersucht, die aus definierten geographischen Regionen Japans stammen. Hierbei handelte es sich um 37 Schädel von adulten Tieren beiderlei Geschlechts, die miteinander verglichen wurden, um den klimatischen Einfluss auf die Morphologie des Canalis nasolacimalis zu untersuchen. Einen Überblick über die Populationen, die geographischen Daten sowie die durchschnittliche Jahrestemperatur und die Temperatur des kältesten Monats (Januar) zeigen Tabelle 5 und Abbildung 5.

Tab. 5: Anzahl der Schädel von *Macaca fuscata* aus verschiedenen Populationen unter Berücksichtigung der geographischen Daten.

Population	n	Breitengrade (°)	Durchschnittliche Jahrestemp. (°C)	Durchschnittliche Januartemp. (°C)
Shimokita	8	41,14	9,70	-1,8
Kinkazan	8	38,15	11,90	1,0
Shodoshima	7	34,50	15,82	4,6
Koshima	6	31,45	16,99	6,8
Yakushima	8	30,56	19,45	10,7

n: Anzahl der Individuen.



Abb. 5: Lokalisation der in Tabelle 5 aufgeführten lokalen Populationen (grüne Kreise) von *Macaca fuscata* auf den japanischen Inseln unter Angabe der Breitengrade. Die Landkarte Japans wurde modifiziert nach www.stepmap.de.

Im dritten Teil der Arbeit wurden verschiedene Spezies der Faszikularis-Gruppe (*Macaca cyclopis*, *Macaca fascicularis*, *Macaca mulatta*, *Macaca fuscata*) bezüglich der Morphologie des Canalis nasolacrimalis anhand von 34 Schädeln untersucht. Es handelte sich hierbei ausschließlich um adulte Tiere beiderlei Geschlechts (Tab. 6).

Tab. 6: Aufschlüsselung der Anzahl der Schädel der Faszikularis-Gruppe.

Spezies	Anzahl der Individuen
<i>Macaca cyclopis</i>	8
<i>Macaca fascicularis</i>	7
<i>Macaca mulatta</i>	10
<i>Macaca fuscata</i> *	9

* Die Anzahl der Schädel von *Macaca fuscata* entspricht den aufgeführten Schädeln in Tabelle 4 der Altersgruppe 4.

3.2 Methoden

3.2.1 Computertomographische Schädeluntersuchungen

Die Schädel wurden im Rahmen einer früheren Querschnittsstudie zur Untersuchung der Nasennebenhöhlen von *Macaca fuscata* (Koppe and Nagai, 1997) in koronaren Schichten mit dem HiSpeed Advantage RP Computertomographen (General Electric Medical Systems, Milwaukee, USA) geröntgt. Die Aufnahmen entstanden am Department of Radiology Okayama University Hospital, Japan bei einer Spannung von 120 kV und einer Stromstärke von 150 mA. Ihre Schichtdicke betrug bei Tieren der Altersgruppe 1 0,5 mm, bei allen weiteren Tieren 1 mm. Anschließend wurden die Aufnahmen elektronisch aufgearbeitet.

Vermessung des Canalis nasolacimalis

Zunächst wurden die gespeicherten Rohdaten mit dem Programm ImageJ Version 1.49® (Rasband, Research Services Branch National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland USA) bezüglich des Kontrastes und der Helligkeit optimiert und als JPEG-Dateien abgespeichert. Anschließend wurden die computertomographischen Schichtaufnahmen mit dem Computerprogramm WinSurf Version 4.0® (Lozanoff and Moody, 2001) vermessen. Durch manuelles Umfahren der knöchernen Strukturen der fortlaufenden Schichtbilder wurde das Volumen des Canalis nasolacimalis ermittelt (Abb. 6).

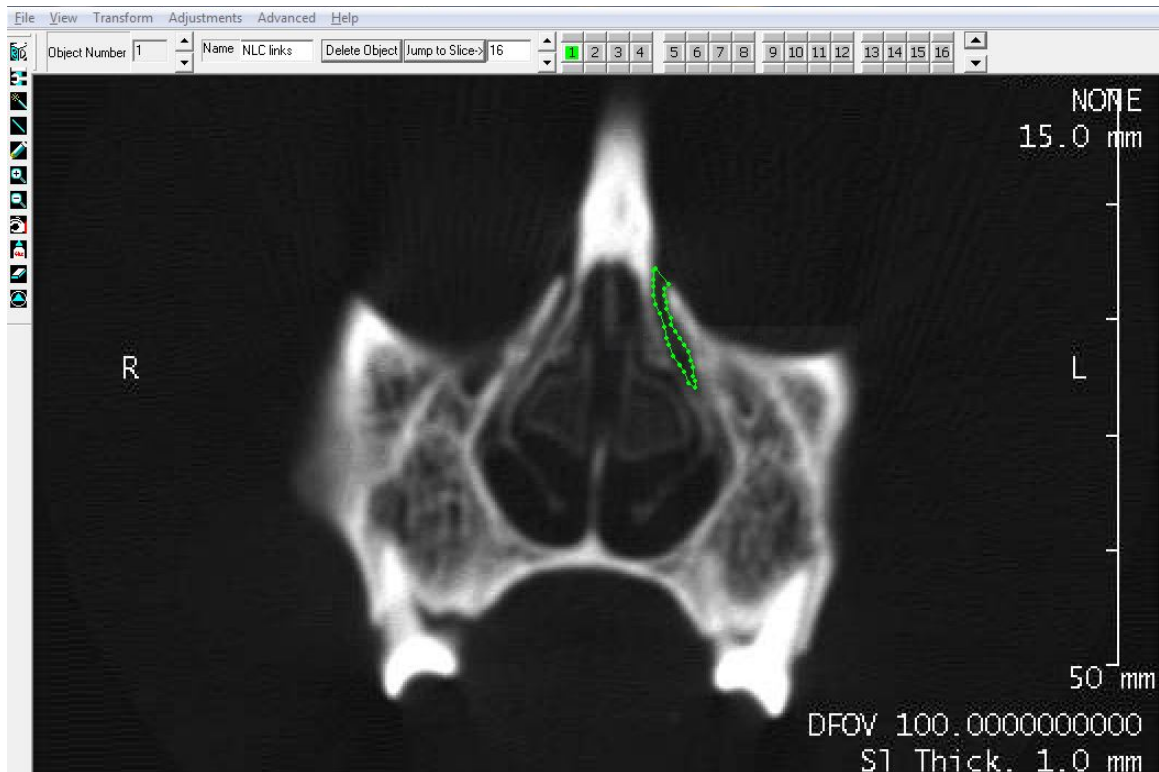


Abb. 6: Benutzeroberfläche von WinSurf® mit Darstellung einer koronaren computertomographischen Schichtaufnahme eines adulten männlichen Makaken (*Macaca fuscata*). Auf der linken Seite (L) sind die Konturen des Canalis nasolacrimalis grün umfahren.

Längen und Winkel des Canalis nasolacrimalis wurden mit dem Programm OsiriX® Version 5.8.2 (Rosset et al. 2004) vermessen (Abb. 7). Hierbei erfolgte zunächst eine dreidimensionale multiplanare Rekonstruktion der Schichtbilder mittels der Programmfunktion „3D MPR“. Für die Längenvermessung wurde zuerst die vertikale Achse des Achsenkreuzes durch die Mitte des Canalis nasolacrimalis im koronaren Schichtbild positioniert. Danach wurde das Schichtbild in der Mediansagittalebene betrachtet. Nach dem Ausrichten des harten Gaumens parallel zur Horizontalebene, wurde die Längenmessung des Canalis nasolacrimalis vorgenommen (Abb. 8). Diese Vorgehensweise bildete gleichzeitig die Voraussetzung für die anschließende Winkelvermessung (Abb. 9).

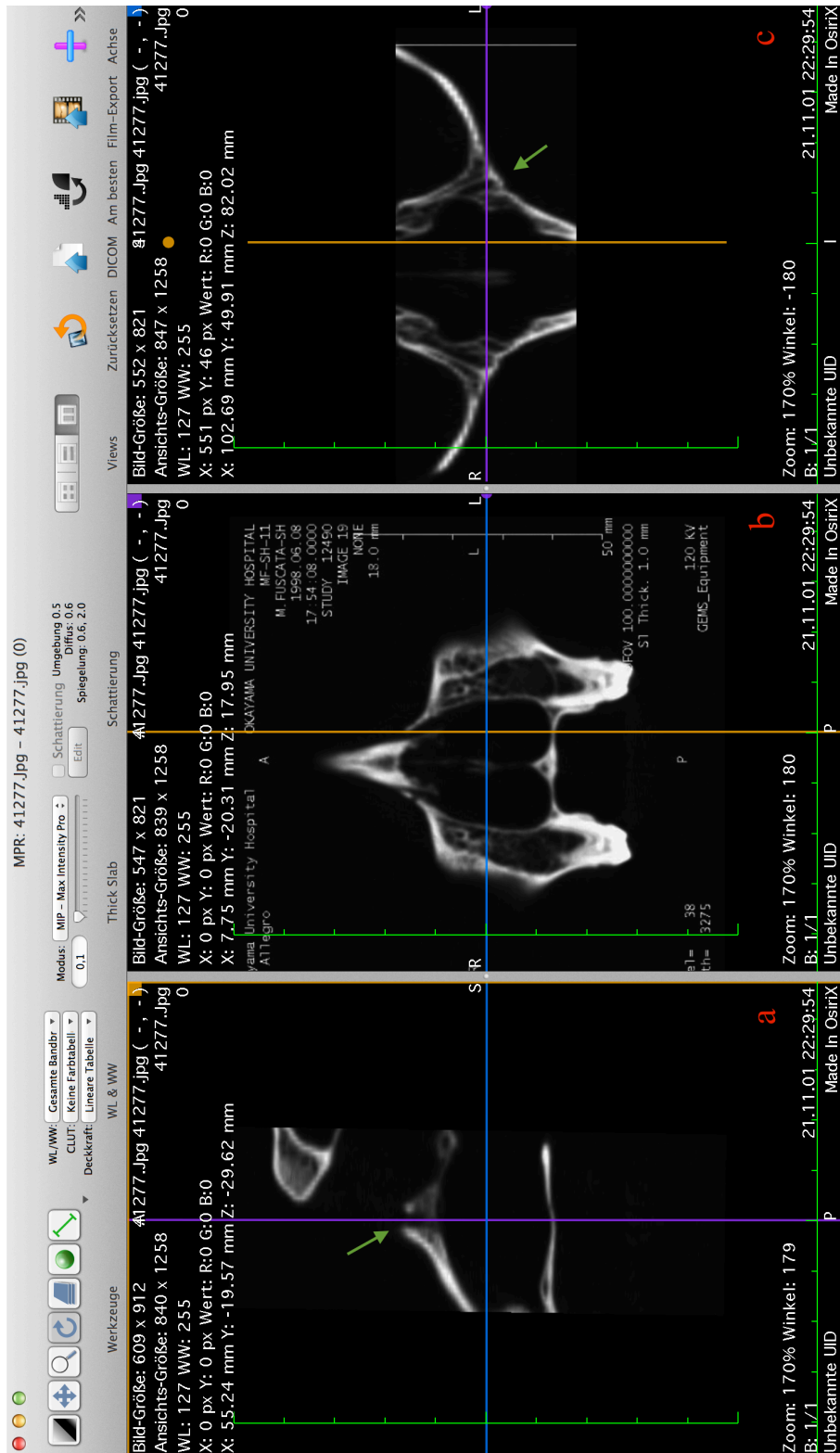


Abb. 7: Benutzeroberfläche von OsiriX® mit Darstellung des Schädels eines adulten männlichen Makaken (*Macaca fuscata*) mittels multiplanarer Rekonstruktion (MPR). Die Abbildung zeigt den Schädel in drei senkrecht zueinander stehenden Ebenen (a: Sagittalebene; b: Koronarebene, c: Transversalebene). Dabei entspricht die violette Linie in a der Ebene der Koronaraufnahme in b. Die blaue Linie in a entspricht der Ebene der Transversalaufnahme in c. Die grünen Pfeile in a und c markieren den Canalis nasolacrimalis

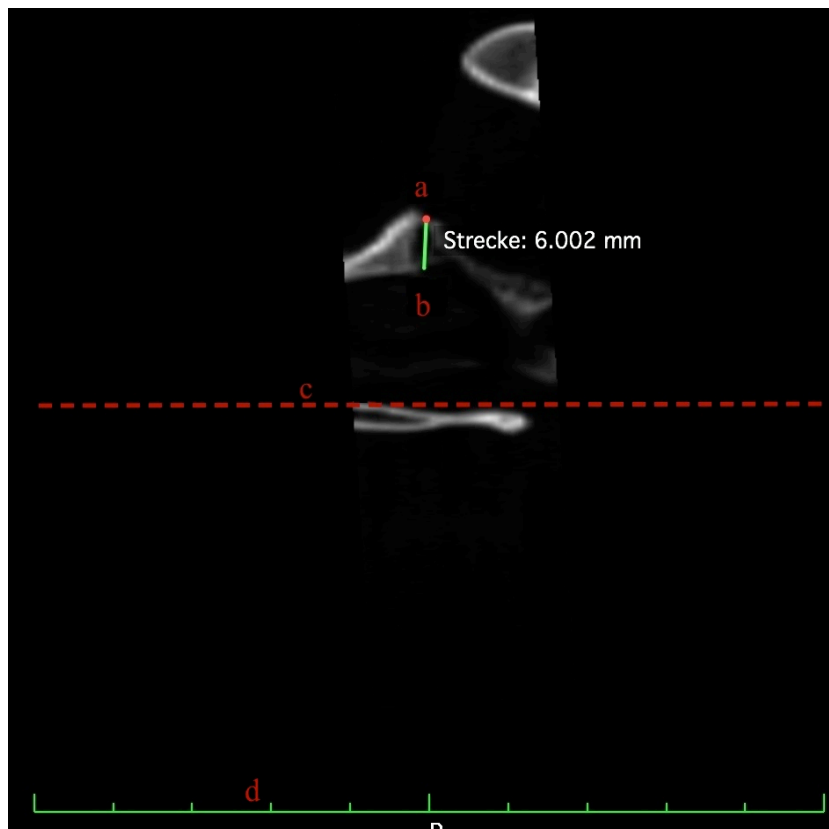


Abb. 8: Darstellung der Längenmessung des Canalis nasolacrimalis in OsiriX® an einem Sagittalschnitt durch den Schädel eines adulten männlichen Makaken (*Macaca fuscata*), a: Messpunkt a (Eingang in den Canalis nasolacrimalis), b: Messpunkt b (Mündung des Canalis nasolacrimalis in die Nasenhöhle), c: Parallele zur Horizontalebene, d: Horizontalebene. Die grüne Linie (d) weist eine Unterteilung in Zentimeter auf.

Im Anschluss daran wurde der Winkel zwischen der Längsachse des Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene bestimmt (Abb. 9).

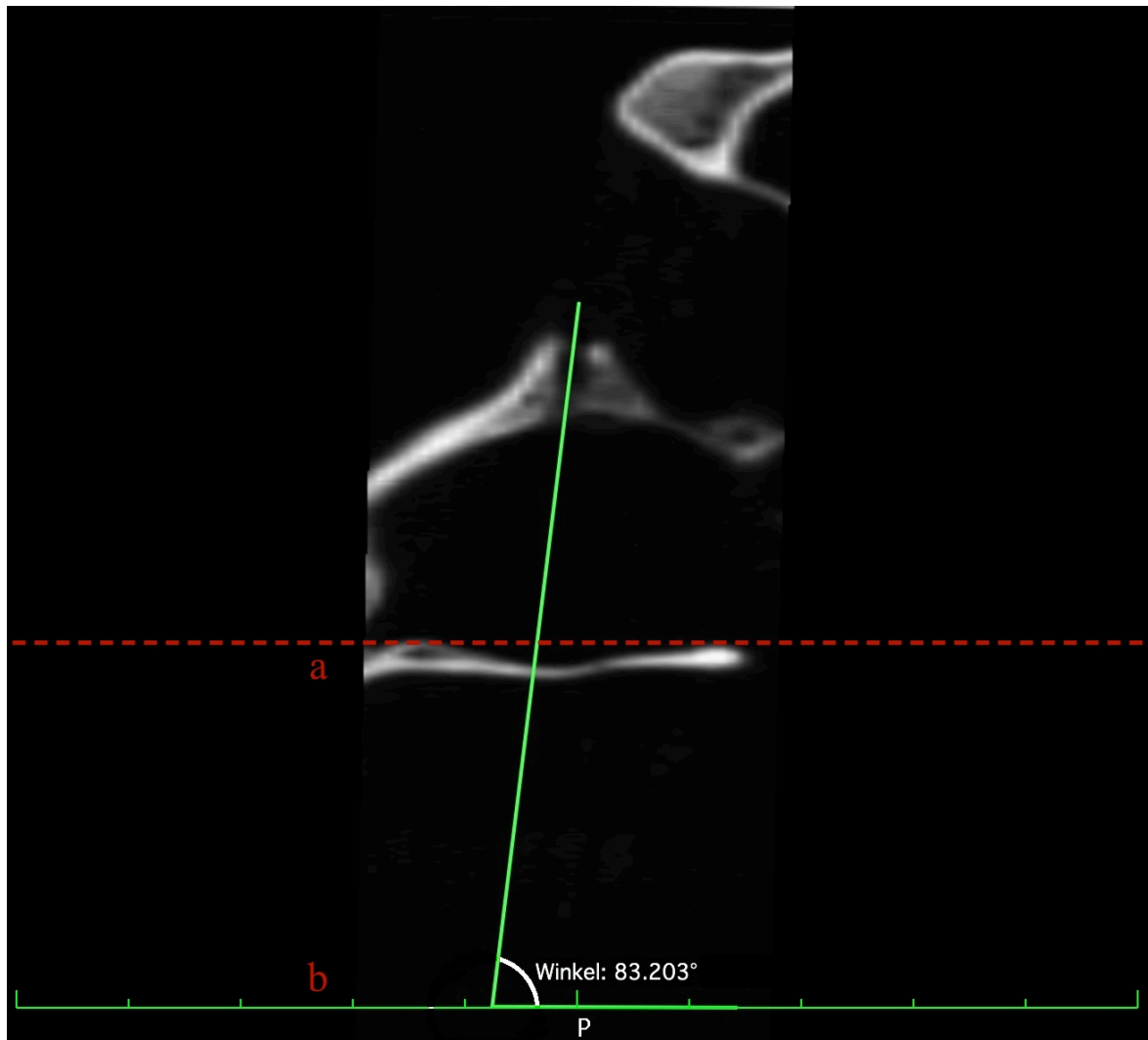


Abb. 9: Darstellung der Winkelvermessung zwischen der Längsachse des Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene (b) mit OsiriX®. Dargestellt ist die sagittale computertomographischen Schichtaufnahme eines adulten männlichen Makaken (*Macaca fuscata*), a: Parallele zur Horizontalebene, b: Horizontalebene.

Folgende Maße wurden basierend auf den computertomographischen Schichtaufnahmen vermessen:

V NLC: Volumen des Canalis nasolacrimalis

L NLC: Länge des Canalis nasolacrimalis

W NLC/HE: Winkel zwischen der Achse des Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene

3.2.2 Metrische Schädeluntersuchungen

Um die gewonnenen Maße des Canalis nasolacimalis in Relation zur Schädelmorphologie setzen zu können, wurden sie mit linearen Schädelmaßen, die von Prof. Dr. Th. Koppe (Greifswald) zur Verfügung gestellt wurden, verglichen. Die Maße basieren auf Definitionen von Martin (1928) und wurden von Prof. Dr. Th. Koppe am Primate Research Institute der Kyoto Universität in Inuyama vermessen. Folgende Längen-, Höhen- und Breitenmaße wurden verwendet (Abb. 10-13):

Längenmaße

L1: Gesamtschädellänge (Prosthion – Opisthokranion)

L2: Schädelbasislänge (Nasion-Basion)

L3: Gesichtsschädellänge (Basion-Prosthion)

L4: Gaumenlänge (Orale – Staphylion)

Höhenmaße

H1: Gesichtsschädelhöhe (Nasion-Prosthion)

Breitenmaße

B1: Maxilloalveolarbreite (Ekmolare- Ekmolare)

B2: Gaumenbreite (Endomolare – Endomolare)

B3: Biorbitalbreite (Ektokonchion – Ektokonchion)

B4: Mittelgesichtsbreite (Zygomaxillare – Zygomaxillare)

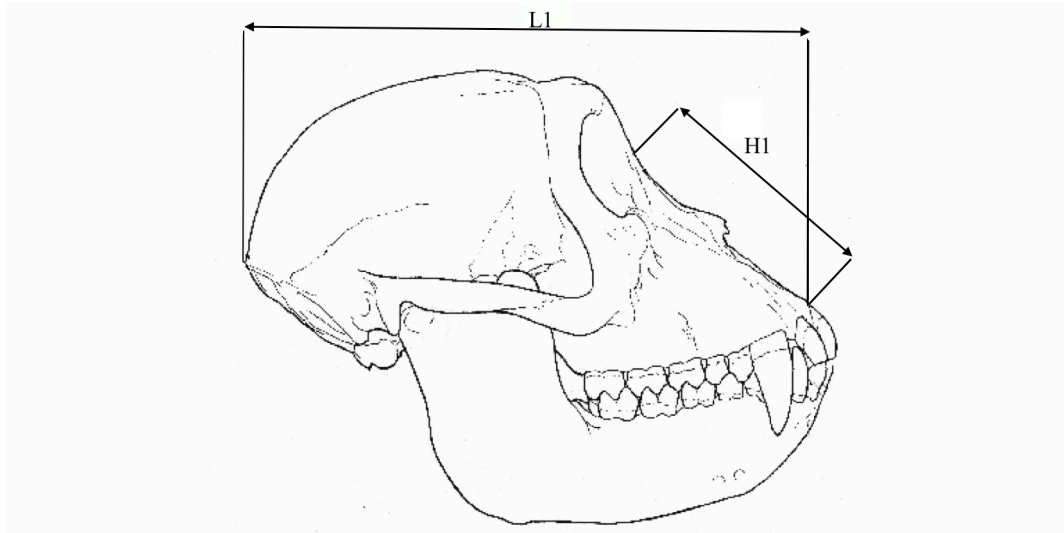


Abb. 10: Nachzeichnung des Schädels und Unterkiefers eines adulten männlichen Makaken (*Macaca fuscata*) in der Norma lateralis mit Darstellung der größten Schädellänge L1 sowie der Obergesichtshöhe H1. Die Abbildung wurde zur Verfügung gestellt von Prof. Dr. Th. Koppe (Greifswald).

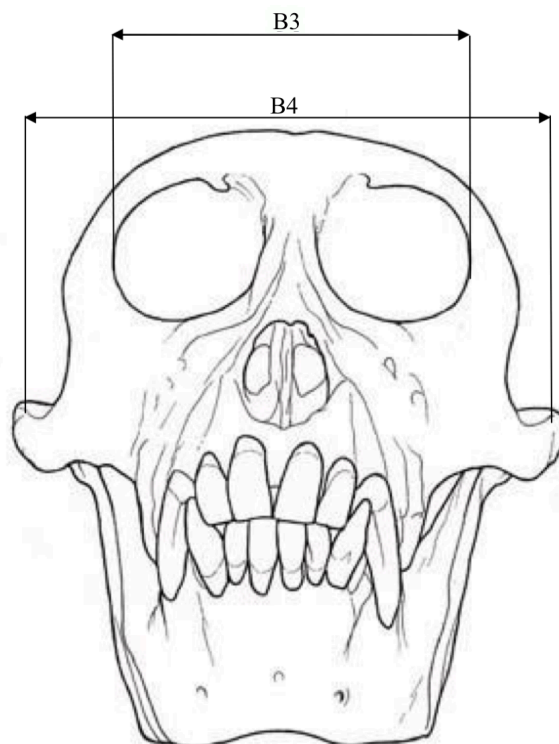


Abb. 11: Nachzeichnung des Schädels und Unterkiefers eines adulten männlichen Makaken (*Macaca fuscata*) in der Norma frontalis zur Darstellung der Biorbitalbreite B3 und Mittelgesichtsbreite B4. Die Abbildung wurde zur Verfügung gestellt von Prof. Dr. Th. Koppe (Greifswald).

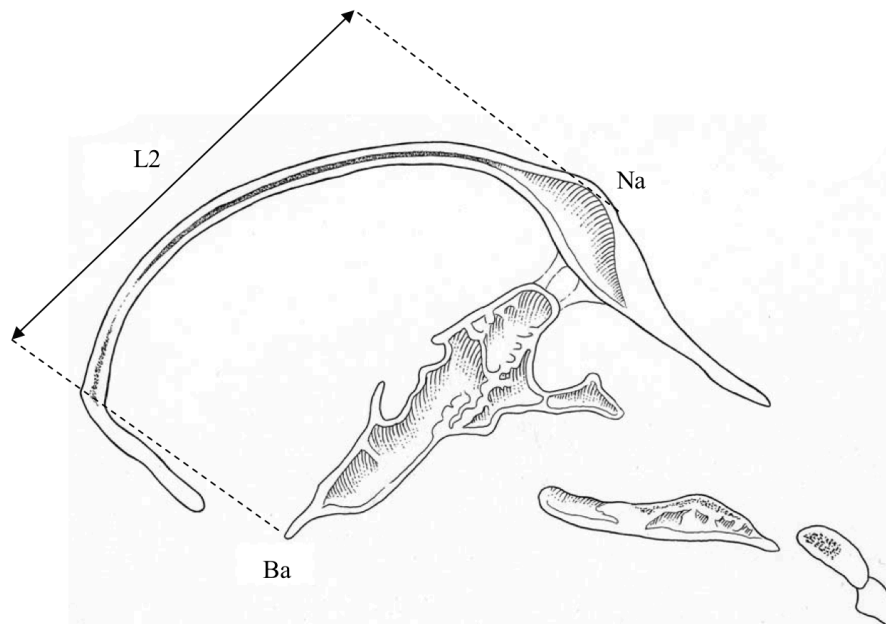


Abb. 12: Nachzeichnung des Schädels eines adulten männlichen Makaken (*Macaca fuscata*) in der Norma medialis mit Darstellung der Schädelbasislänge L2, Na: Nasion, Ba: Basion. Die Abbildung wurde zur Verfügung gestellt von Prof. Dr. Th. Koppe (Greifswald).

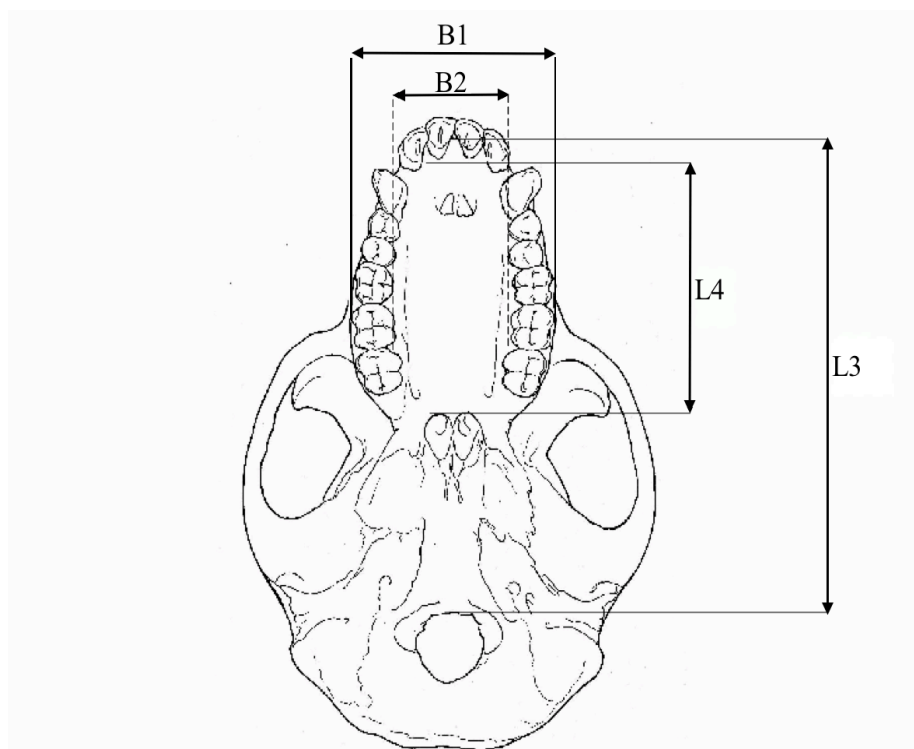


Abb. 13: Nachzeichnung des Schädels eines adulten männlichen Makaken (*Macaca fuscata*) in der Norma basilaris mit Darstellung der Maxilloalveolarbreite B1, Gaumenbreite B2, Gesichtsschädellänge L3, Gaumenlänge L4. Die Abbildung wurde zur Verfügung gestellt von Prof. Dr. Th. Koppe (Greifswald).

3.2.3 Statistische Auswertung

Im ersten Teil dieser Arbeit untersuchten wir das Wachstumsverhalten des Canalis nasolacimalis von *Macaca fuscata* unter Berücksichtigung des Geschlechtsdimorphismus. Zunächst wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen der Volumina, Strecken und Winkel der einzelnen Altersgruppen ermittelt. Im Anschluss wurde die geschlechts- und altersabhängige Verteilung der Messwerte des Canalis nasolacimalis mithilfe von Boxplot-Diagrammen graphisch dargestellt. Für die anschließende Wachstumsanalyse des Canalis nasolacimalis wurden die erhobenen Parameter der jeweiligen Altersgruppen auf eine Bezugsgröße bezogen, da das biologische Alter der Tiere nicht bekannt war. Als Bezugsgrößen wurden die Gesamtschädellänge und die Gesichtsschädelhöhe gewählt.

Um die statistischen Zusammenhänge zwischen dem Canalis nasolacimalis und weiteren Schädelmaßen zu ermitteln, wurde eine Korrelations- und Faktorenanalyse durchgeführt. Für ausgewählte Parameter folgte anschließend eine lineare Regressionsanalyse, deren Ergebnisse in Diagrammen graphisch dargestellt wurden. Dabei ergab sich aus den entstandenen Punktwolken eine Regressionsgerade mit der Formel:

$$y=bx+a$$

Die Merkmalspaare werden durch y und x beschrieben, b ist Maß für den Anstieg der Geraden (Regressionskoeffizient) und a beschreibt den Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der Y-Achse. Das Bestimmtheitsmaß wird durch R angegeben, welches die lineare Annäherung an die Datenmenge beschreibt. Die Steigungsunterschiede der Regressionsgeraden männlicher und weiblicher Tiere wurden mittels einer einfaktoriellen Varianzanalyse auf Signifikanz überprüft.

Von besonderem Interesse war in diesen Teilen der Arbeit die Beziehung zur Kieferhöhle, deren Volumen mit den erhobenen Maßen des Canalis nasolacimalis auf Zusammenhänge untersucht wurde. Die Werte für das Volumen des Sinus maxillaris entnahmen wir der Arbeit von Koppe and Nagai (1997).

Im zweiten Teil der Arbeit untersuchten wir die Variationsbreite des Canalis nasolacimalis fünf verschiedener lokaler Populationen von *Macaca fuscata*. Die ausschließlich adulten Tiere sind in unterschiedlichen klimatischen Regionen Japans ansässig. Die Mittelwerte des Volumens, der Strecke sowie der Winkel des Canalis

nasolacimalis der fünf lokalen Populationen wurden mit Boxplot-Diagrammen graphisch dargestellt. Männliche und weibliche Tiere wurden zusammen betrachtet. Die Mittelwerte der erhobenen Parameter wurden auf signifikante Unterschiede mittels einer univariaten Varianzanalyse sowie einem LSD-Post-Hoc-Test und einem Post-Hoc-Test nach Bonferroni überprüft.

Um den klimatischen Einfluss auf das Volumen des Canalis nasolacimalis darzustellen, errechneten wir dessen Index mit folgender Formel:

$$\text{Index NLC} = V_{\text{NLC}} \cdot 100 / \text{GSV}$$

Die Werte für das Volumen des Gesichtsschädels entnahmen wir aus einer vorausgegangenen Arbeit von Balczun (2008). Das Gesichtsschädelvolumen wurde mit Hilfe der Heronschen Formel (Bartsch, 1984) berechnet:

$$\text{GSV} = \sqrt{s \cdot (s - L2) \cdot (s - L3) \cdot (s - H1)} \cdot B4$$

$$s = 1/2 \cdot (L2 + L3 + H1)$$

Für die graphische Darstellung trugen wir den errechneten Index gegen die durchschnittliche Januartemperatur sowie gegen die Latitude auf. Hierbei verwendeten wir Boxplots für die Übersichtsdarstellung. Anschließend ermittelten wir die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Indexwerte des Canalis nasolacimalis der verschiedenen Populationen. Um die statistischen Zusammenhänge zwischen dem Index des Canalis nasolacimalis, der kleinsten Januartemperatur und der geographischen Lage zu ermitteln, führten wir eine Korrelationsanalyse durch.

Im dritten Teil der Arbeit erfolgte schließlich die Untersuchung der Variationsbreite des Canalis nasolacimalis bei den vier Makakenspezies der Fazikularis-Gruppe. Alle Parameter wurden durch Mittelwerte und Standardabweichungen charakterisiert. Die graphische Darstellung erfolgte mit Boxplot-Diagrammen, in denen männliche und weibliche Tiere zusammen betrachtet wurden. Die Mittelwerte der erhobenen Parameter wurden auf signifikante Unterschiede mittels einer univariaten Varianzanalyse sowie einem LSD-Post-Hoc-Test und einem Post-Hoc-Test nach Bonferroni überprüft.

Die biostatistische Auswertung erfolgte mit den Programmen Excel und SPSS für Mac OS X.

4. Ergebnisse

4.1 Morphologie und Wachstum des Canalis nasolacimalis von *Macaca fuscata*

4.1.1 Morphologie des Canalis nasolacimalis

Für jede Altersgruppe wurde der Canalis nasolacimalis graphisch rekonstruiert. In den Abbildungen 14-17 sind für jede Altersgruppe repräsentative Abbildungen dargestellt. Im Untersuchungszeitraum erfolgte eine kontinuierliche geschlechtsunabhängige Zunahme von Breite, Höhe und Volumen des Canalis nasolacimalis. Der Winkel zwischen der Achse des Canalis nasolacimalis und der Horizontalebene (W NLC/HE) verkleinerte sich hingegen geschlechtsunabhängig im Laufe des Wachstums.

Männliche und weibliche Tiere wiesen eine sehr ähnliche Form des Canalis nasolacimalis auf. Die Grundform des Canalis nasolacimalis von *Macaca fuscata* stellte sich in den koronaren Schichtaufnahmen folgendermaßen dar. Vom orbitalen Eingang erstreckte sich der Kanal in seinem Verlauf nach kaudal und lateral. Dabei lag der orbitale Eingang weiter medial als die Mündungsstelle in der Nasenhöhle. Bei der 3D-Rekonstruktion wurde als Bezugsstruktur der Sinus maxillaris gewählt um eine bessere Orientierung zu ermöglichen. Tiere der Altersgruppe 1 hatten erwartungsgemäß einen vergleichsweise kurzen und schmalen knöchernen Tränennasenkanal, der anterior des Sinus maxillaris gelegen war. Beide Strukturen waren hierbei nicht gleichzeitig auf einem Schichtbild vorzufinden (Abb. 14). Erst ab der Altersgruppe 2 erschienen beide Strukturen gleichzeitig auf einem Schichtbild (Abb. 15).

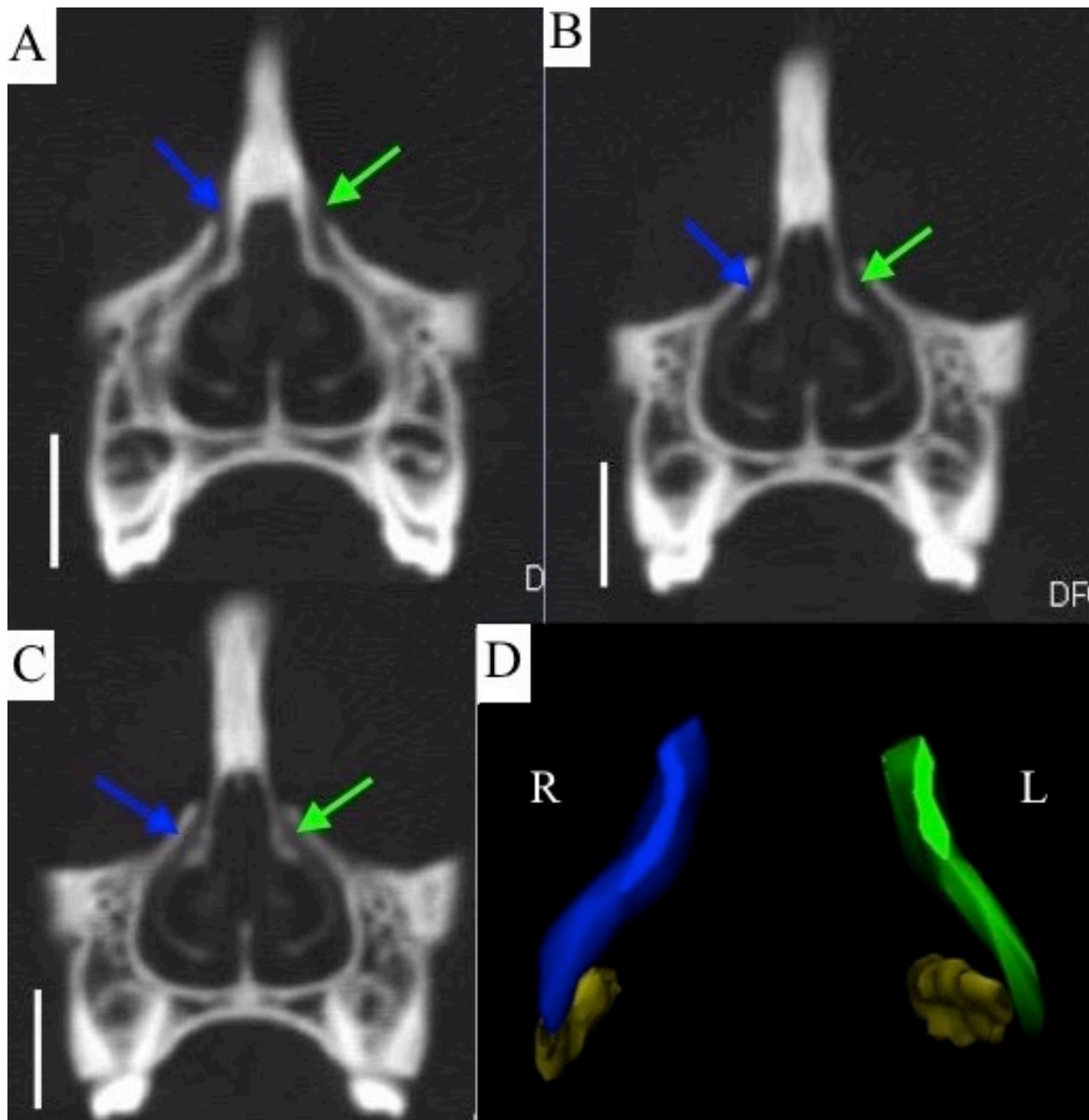


Abb. 14: Koronare computertomographische Schichtaufnahmen (A-C) und 3D-Rekonstruktion des rechten (blau) und linken (grün) Canalis nasolacrimalis (D) eines männlichen Makaken (*Macaca fuscata*) der Altersgruppe 1. Balkenlänge: 1 cm. Die blauen Pfeile weisen auf den rechten Canalis nasolacrimalis und die grünen Pfeile auf den Linken.

A: Region des 1. Milchmolaren
 B: Region des 1. Milchmolaren
 C: Region des Interdentalraums zwischen 2. Milchmolaren und 1. permanenten Molaren
 D: 3D-Rekonstruktion des rechten (blau) und linken (grün) Canalis nasolacrimalis sowie des Sinus maxillaris (gelb)

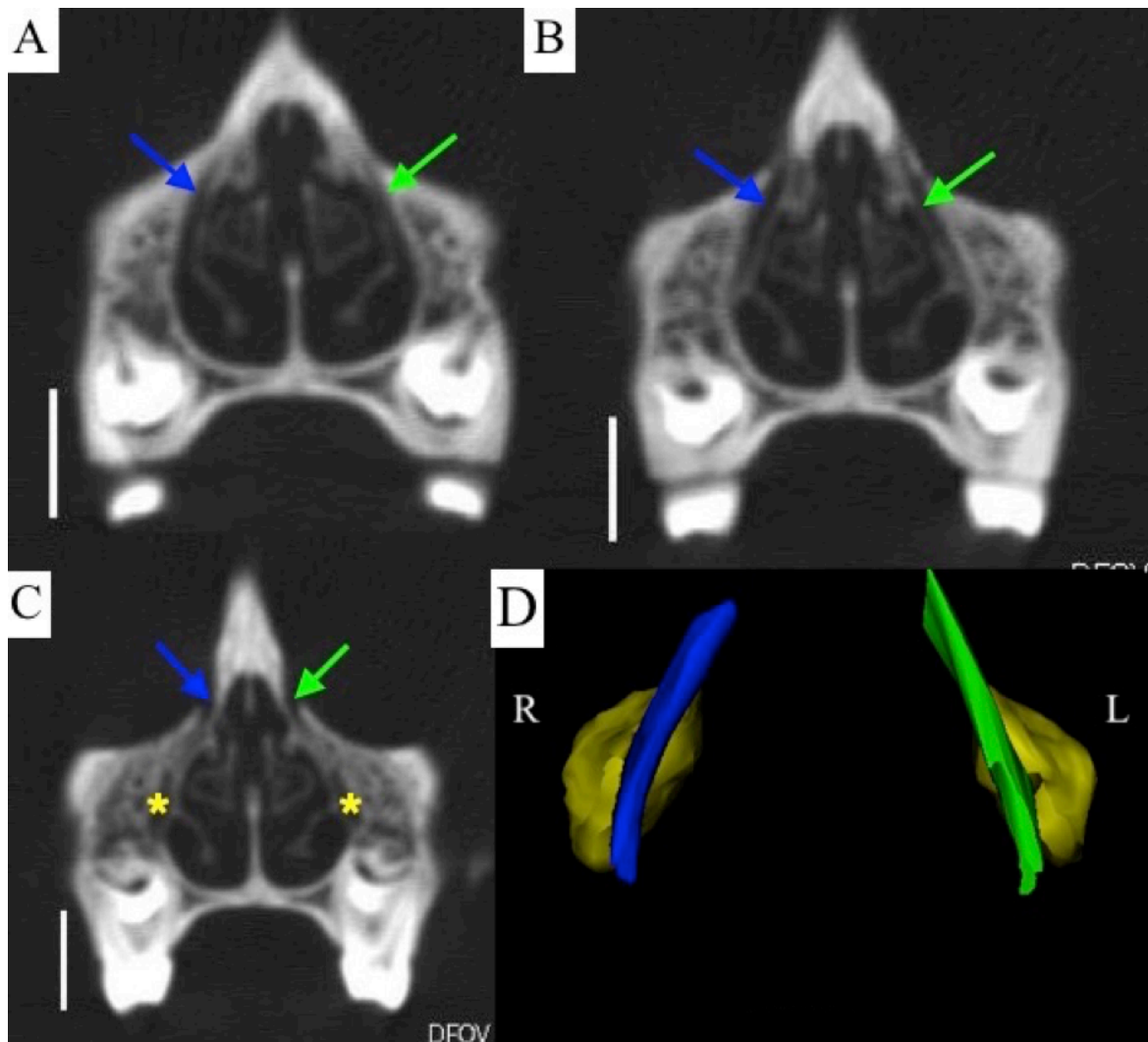


Abb. 15: Koronare computertomographische Schichtaufnahmen (A-C) und 3D-Rekonstruktion des rechten (blau) und linken (grün) Canalis nasolacrimalis (D) eines weiblichen Makaken (*Macaca fuscata*) der Altersgruppe 2. Balkenlänge: 1 cm. Die blauen Pfeile weisen auf den rechten Canalis nasolacrimalis und die grünen Pfeile auf den Linken. Der Sinus maxillaris in C wird durch gelbe Sterne markiert.

A: Region des Interdentalraums zwischen 2. Milchmolaren und 1. permanenten Molaren

B: Region des 1. permanenten Molaren

C: Region des 1. permanenten Molaren

D: 3D-Rekonstruktion des rechten (blau) und linken (grün) Canalis nasolacrimalis sowie des Sinus maxillaris (gelb)

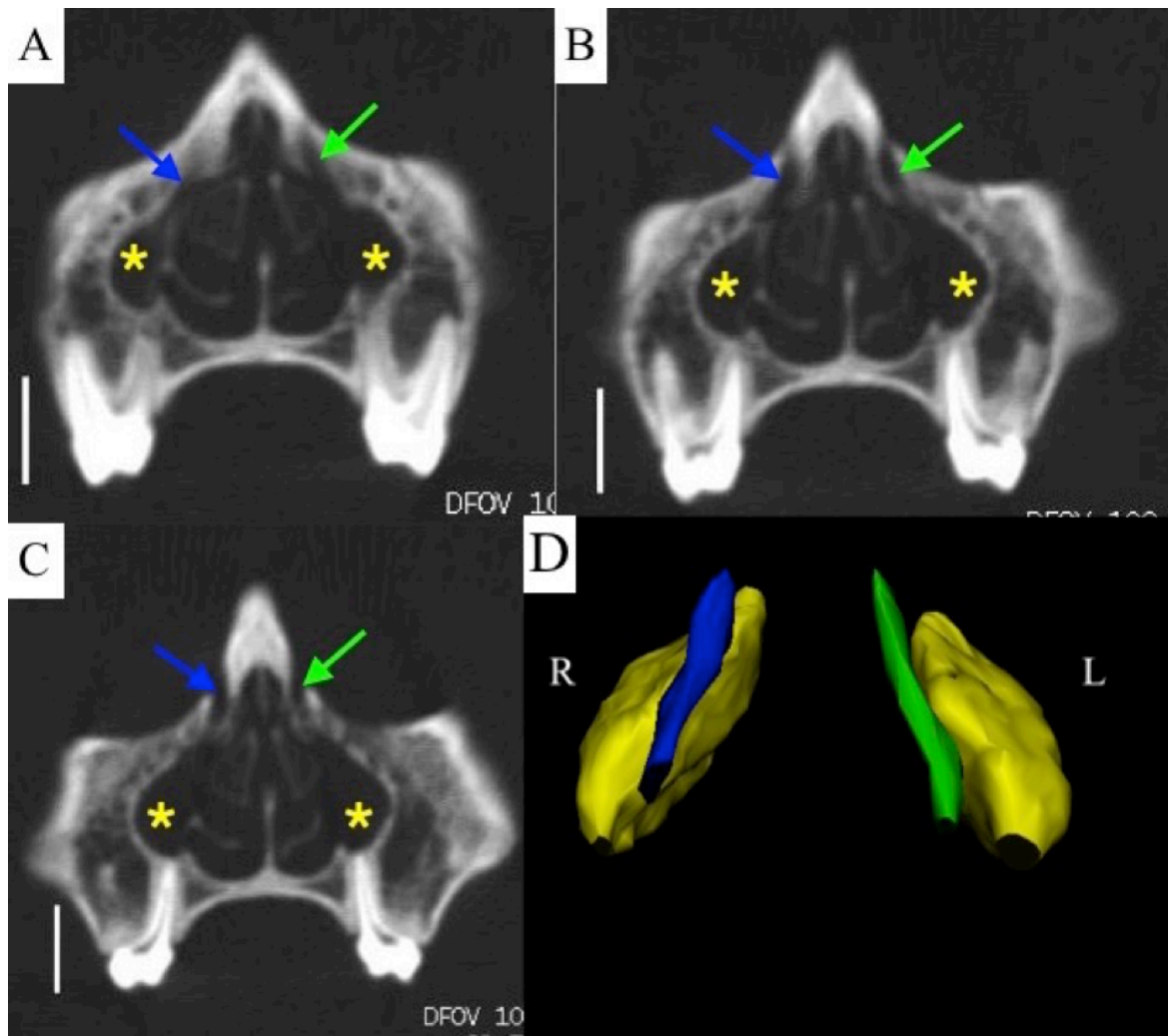


Abb. 16: Koronare computertomographische Schichtaufnahmen (A-C) und 3D-Rekonstruktion des rechten (blau) und linken (grün) Canalis nasolacrimalis (D) eines weiblichen Makaken (*Macaca fuscata*) der Altersgruppe 3. Balkenlänge: 1 cm. Die blauen Pfeile weisen auf den rechten Canalis nasolacrimalis und die grünen Pfeile auf den Linken. Der Sinus maxillaris in A, B und C wird durch gelbe Sterne markiert.

A: Region des 1. permanenten Molaren

B: Region des 1. permanenten Molaren

C: Region des 1. permanenten Molaren

D: 3D-Rekonstruktion des rechten (blau) und linken (grün) Canalis nasolacrimalis sowie des Sinus maxillaris (gelb)

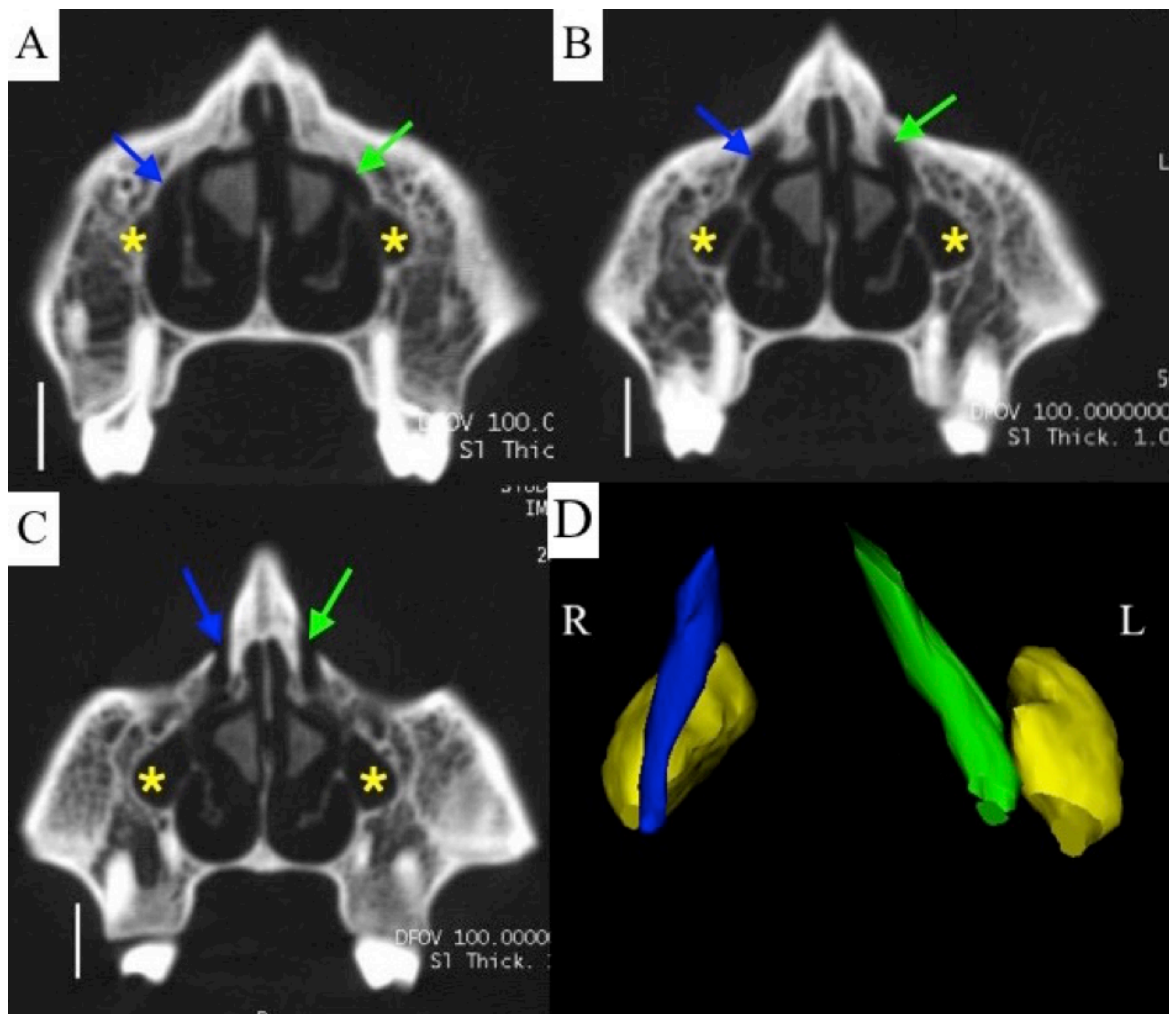


Abb. 17: Koronare computertomographische Schichtaufnahmen (A-C) und 3D-Rekonstruktion des rechten (blau) und linken (grün) Canalis nasolacrimalis (D) eines männlichen Makaken (*Macaca fuscata*) der Altersgruppe 4. Balkenlänge: 1 cm. Die blauen Pfeile weisen auf den rechten Canalis nasolacrimalis und die grünen Pfeile auf den Linken. Der Sinus maxillaris wird in A, B und C durch gelbe Sterne markiert.

A: Region des 2. permanenten Molaren

B: Region des Interdentalraums zwischen 2. und 3. permanenten Molaren

C: Region des 3. permanenten Molaren

D: 3D-Rekonstruktion des rechten (blau) und linken (grün) Canalis nasolacrimalis sowie des Sinus maxillaris (gelb)

4.1.2 Volumen des Canalis nasolacrimalis

Die Mittelwerte der Volumina des Canalis nasolacrimalis der jeweiligen Altersgruppen sind in den Tabellen 7 und 8 aufgelistet und in den Abbildungen 18 und 19 in Form von

Boxplots dargestellt. Es wird deutlich, dass die männlichen Individuen in den Altersgruppen 1 und 4 ein größeres Volumen des Canalis nasolacimalis aufwiesen als die weiblichen Artgenossen. In den Altersgruppen 2 und 3 überstieg das Volumen des Canalis nasolacimalis der weiblichen Tiere das der männlichen Tiere. Dies traf sowohl auf den linken als auch auf den rechten Canalis nasolacimalis zu (Tab. 7). Zwischen männlichen und weiblichen Tieren bestand ein statistisch signifikanter Unterschied für das Volumen des linken Canalis nasolacimalis in der Altersgruppe 4. Betrachtet man beide Geschlechter zusammen, war eine stetige Zunahme des Volumens des Canalis nasolacimalis im Wachstum zu beobachten (Tab. 8). Die Standardabweichung der Mittelwerte der Volumina des Canalis nasolacimalis war besonders hoch bei adulten Tieren verglichen mit den anderen drei Altersgruppen. Die Altersgruppen 1-3 wiesen ähnliche Standardabweichungen auf, was auf eine geringere Variabilität hindeutet.

Tab. 7: Mittelwerte und Standardabweichung der Volumina des Canalis nasolacimalis von *Macaca fuscata* sowie Ergebnisse des 2-seitigen t-Tests für die Mittelwerte der Volumina des Canalis nasolacimalis männlicher und weiblicher Tiere. Angaben der Mittelwerte und Standardabweichungen in cm³.

			m w		m w		t-Test
	AG	n (m/w)	\bar{x}		SD		
NLC R	1	3/3	0,026	0,011	0,012	0,002	0,106
	2	3/3	0,031	0,043	0,01	0,021	0,433
	3	4/4	0,038	0,046	0,007	0,017	0,460
	4	5/4	0,075	0,048	0,024	0,018	0,072
NLC L	1	3/3	0,018	0,010	0,006	0,003	0,092
	2	3/3	0,030	0,043	0,002	0,022	0,387
	3	4/4	0,036	0,044	0,009	0,017	0,403
	4	5/4	0,084*	0,042	0,030	0,019	0,011*

NLC R: rechter Canalis nasolacimalis, NLC L: linker Canalis nasolacimalis, AG: Altersgruppe, n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung, m: männlich, w: weiblich, *p<0,05.

Tab. 8: Mittelwerte und Standardabweichungen der Volumina des Canalis nasolacrimalis von *Macaca fuscata*. Die Werte der männlichen und weiblichen Tiere wurden zusammengefasst. Angaben in cm^3 .

AG	n	\bar{x}		SD	
		rechts	links	rechts	links
1	6	0,018	0,014	0,011	0,006
2	6	0,037	0,036	0,016	0,015
3	8	0,042	0,040	0,013	0,013
4	9	0,063	0,065	0,022	0,028

AG: Altersgruppe, n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung.

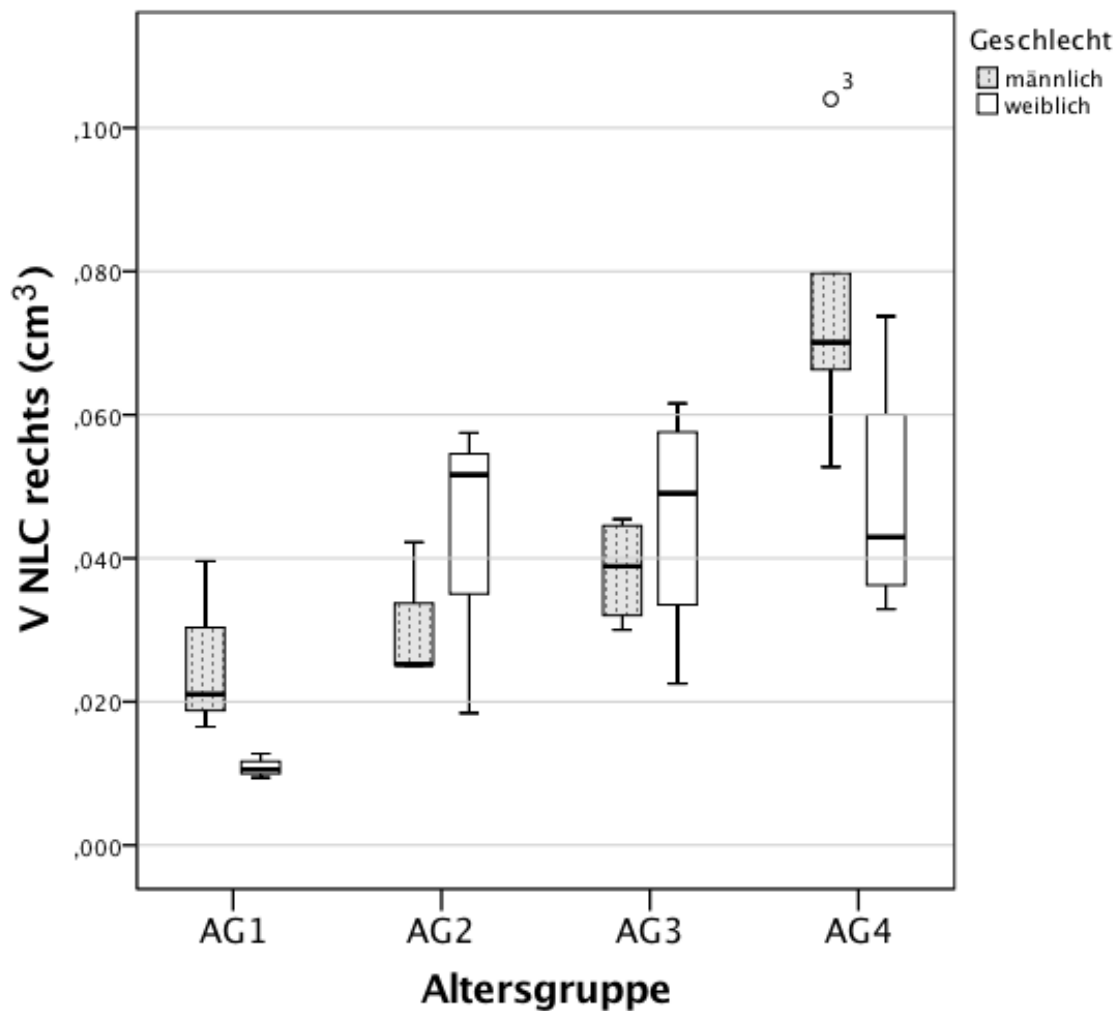


Abb. 18: Boxplots zur Darstellung der Variabilität der Volumina des rechten Canalis nasolacrimalis männlicher und weiblicher Tiere von *Macaca fuscata* in verschiedenen postnatalen Altersgruppen. Der Kreis stellt einen Ausreißer eines männlichen Makaken dar.

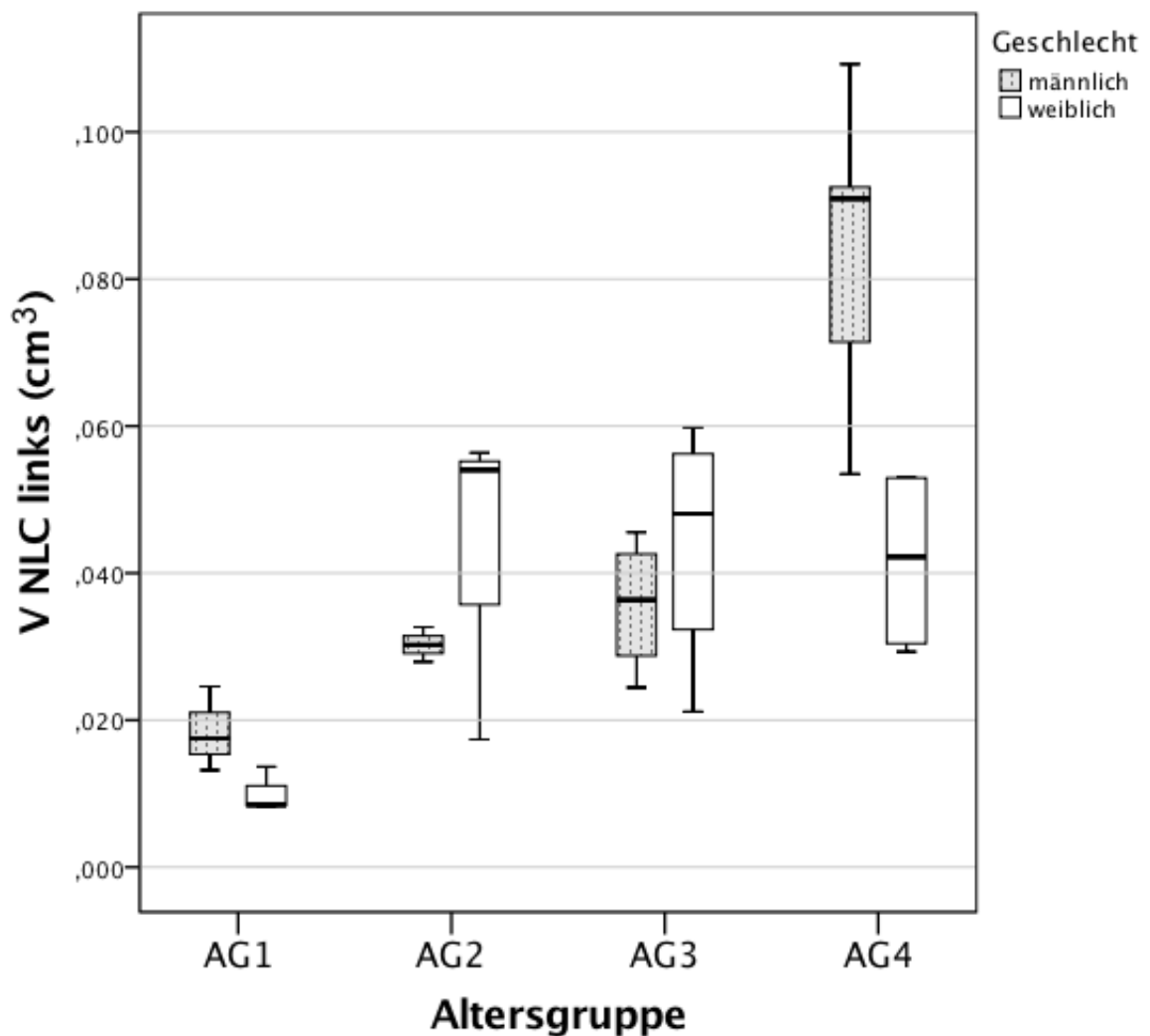


Abb. 19: Boxplots zur Darstellung der Variabilität der Volumina des linken Canalis nasolacrimalis männlicher und weiblicher Tiere von *Macaca fuscata* in verschiedenen postnatalen Altersgruppen.

4.1.3 Länge des Canalis nasolacrimalis

Die Mittelwerte der Länge des Canalis nasolacrimalis der jeweiligen Altersgruppen sind in den Tabellen 9 und 10 beschrieben und in den Abbildungen 20 und 21 in Form von Boxplots dargestellt. Es wird deutlich, dass die weiblichen Individuen in allen Altersgruppen einen längeren Canalis nasolacrimalis aufwiesen als männlichen Individuen. Dies traf sowohl auf den linken als auch auf den rechten Canalis nasolacrimalis zu (Tab. 9). Eine Ausnahme bildete der linke Canalis nasolacrimalis der Altersgruppe 4. Hier überstieg die Länge der Canalis nasolacrimalis der männlichen Tiere die der weiblichen

Tiere, dieser Unterschied war statistisch nicht signifikant. Zwischen männlichen und weiblichen Tieren bestanden statistisch signifikante Unterschiede für die Länge des linken Canalis nasolacimalis in den Altersgruppen 1 und 3. Betrachtet man beide Geschlechter zusammen, war eine stetige Zunahme der Länge des Canalis nasolacimalis im Wachstum zu beobachten (Tab. 10). Die Standardabweichung der Mittelwerte der Länge des Canalis nasolacimalis war bei adulten Tieren am höchsten.

Tab. 9: Mittelwerte und Standardabweichung der Länge des Canalis nasolacimalis von *Macaca fuscata* sowie Ergebnisse des 2-seitigen t-Tests für die Mittelwerte der Länge des Canalis nasolacimalis männlicher und weiblicher Tiere. Angaben der Mittelwerte und Standardabweichung in cm.

			m w		m w		t-Test
	AG	n (m/w)	\bar{x}		SD		
NLC R	1	3/3	0,288	0,393	0,057	0,092	0,168
	2	3/3	0,340	0,341	0,043	0,042	0,993
	3	4/4	0,468	0,545	0,047	0,107	0,235
	4	5/4	0,626	0,632	0,084	0,126	0,937
NLC L	1	3/3	0,297	0,404*	0,010	0,057	0,033*
	2	3/3	0,314	0,424	0,021	0,089	0,107
	3	4/4	0,462	0,578*	0,021	0,067	0,017*
	4	5/4	0,629	0,620	0,087	0,145	0,910

NLC R: rechter Canalis nasolacimalis, NLC L: linker Canalis nasolacimalis, AG: Altersgruppe, n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung, m: männlich, w: weiblich, *p<0,05.

Tab. 10: Mittelwerte und Standardabweichungen der Länge des Canalis nasolacimalis von *Macaca fuscata*. Die Werte der männlichen und weiblichen Tiere wurden zusammengefasst. Angaben in cm.

AG	n	\bar{x}		SD	
		rechts	links	rechts	links
1	6	0,341	0,351	0,090	0,069
2	6	0,341	0,369	0,038	0,083
3	8	0,506	0,520	0,087	0,077
4	9	0,628	0,625	0,098	0,108

AG: Altersgruppe, n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung.

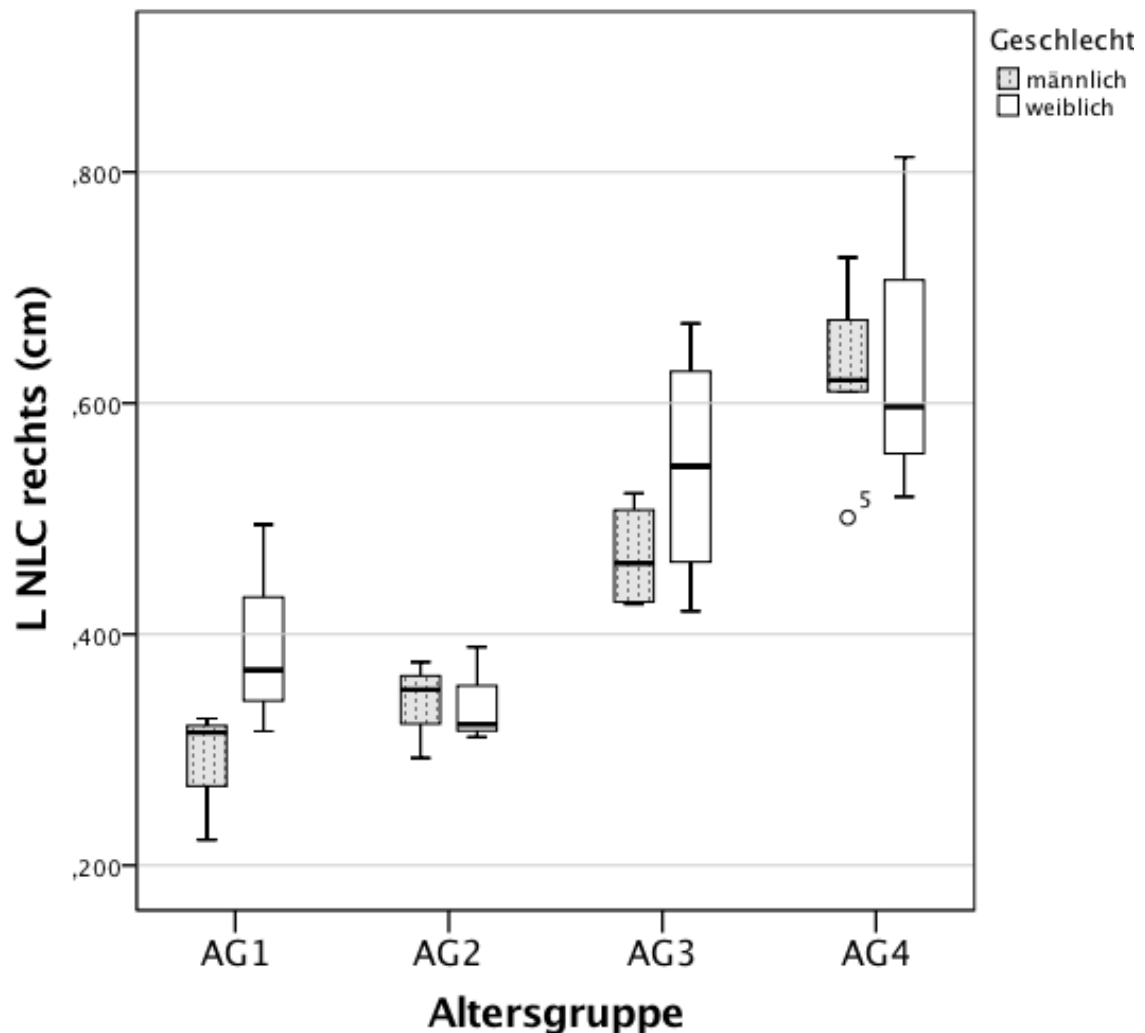


Abb. 20: Boxplots zur Darstellung der Variabilität der Länge des rechten Canalis nasolacimalis männlicher und weiblicher Tiere von *Macaca fuscata* in verschiedenen postnatalen Altersgruppen. Der Kreis stellt einen Ausreißer eines männlichen Makaken dar.

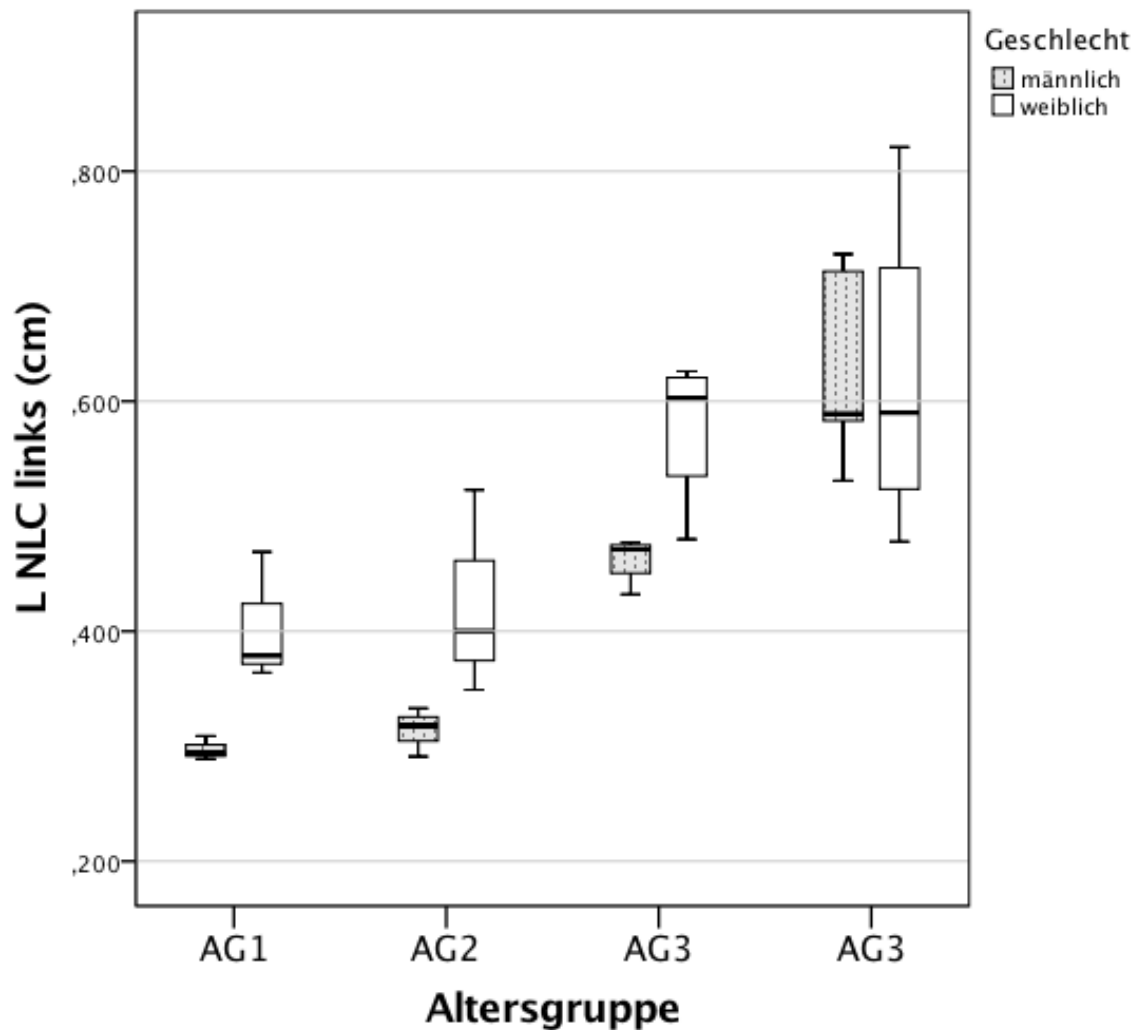


Abb. 21: Boxplots zur Darstellung der Variabilität der Länge des linken Canalis nasolacrimalis männlicher und weiblicher Tiere von *Macaca fuscata* in verschiedenen postnatalen Altersgruppen.

4.1.4 Achsenneigung des Canalis nasolacrimalis

Die Mittelwerte der Winkel zwischen der Achse des Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene der jeweiligen Altersgruppen sind in den Tabellen 11 und 12 aufgelistet und in den Abbildungen 23 und 24 als Boxplots dargestellt. In den Altersgruppen 2 bis 4 war der Winkel bei weiblichen Tieren größer als bei männlichen Tieren. Des Weiteren wird deutlich, dass der Winkel im Wachstum kleiner wurde. Tiere der Altersgruppe 1 weisen den größten Winkel auf, Tiere der Altersgruppe 4 den kleinsten (Abb. 22). Eine Ausnahme bildeten die weiblichen Tiere der Altersgruppe 2, die einen geringfügig größeren Winkel als Tiere der Altersgruppe 1 zeigten (Tab. 11). Zwischen männlichen und weiblichen Tieren bestand ein statistisch signifikanter Unterschied für den Winkel

zwischen der Achse des rechten Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene in der Altersgruppe 2. Wenn beide Geschlechter jedoch zusammen betrachtet werden (Tab. 12), wurde der Winkel mit aufsteigender Altersgruppe kleiner. Die Standardabweichung der Mittelwerte des Winkels zwischen der Achse des Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene war am höchsten bei adulten Tieren.

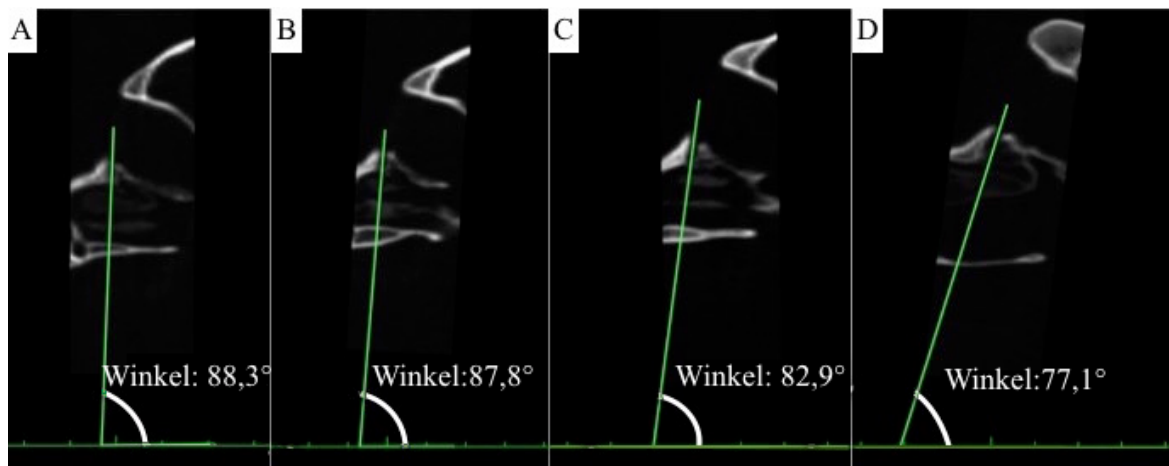


Abb. 22: Achsenneigung des Canalis nasolacrimalis in Bezug zur Horizontalebene dargestellt an sagittalen computertomographischen Schichtaufnahmen von *Macaca fuscata* der Altersgruppen 1-4 (A: Altersgruppe 1, B: Altersgruppe 2, C: Altersgruppe 3, D: Altersgruppe 4). Die Winkelangaben sind Mittelwerte der zusammengefassten Werte männlicher und weiblicher Tiere.

Tab. 11: Mittelwerte und Standardabweichung des Winkels zwischen der Achse des rechten und linken Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene von *Macaca fuscata* verschiedener Altersgruppen sowie Ergebnisse des 2-seitigen t-Tests für die Mittelwerte des Winkels zwischen der Achse des Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene männlicher und weiblicher Tiere. Angaben der Mittelwerte und Standardabweichungen in °.

			m	w	m	w	t-Test
	AG	n (m/w)	\bar{x}		SD		
NLC R	1	3/3	88,4	88,3	0,5	3,2	0,960
	2	3/3	86,7	88,9*	1,7	1,8	0,000*
	3	4/4	82,4	83,4	2,9	2,1	0,587
	4	5/4	76,4	78,0	4,9	2,3	0,588
NLC L	1	3/3	88,7	87,4	1,4	3,7	0,605
	2	3/3	87,1	88,8	1,7	0,8	0,173
	3	4/4	80,1	84,0	3,5	1,5	0,089
	4	5/4	74,3	78,9	8,1	4,3	0,345

NLC R: rechter Canalis nasolacrimalis, NLC L: linker Canalis nasolacrimalis, AG: Altersgruppe, n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung, m: männlich, w: weiblich, * $p < 0,01$.

Tab. 12: Mittelwerte und Standardabweichungen des Winkels zwischen der Achse des rechten und linken Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene von *Macaca fuscata*. Männliche und weibliche Tiere wurden zusammengefasst. Angaben in °.

		\bar{x}		SD	
AG	n	rechts	links	rechts	links
1	6	88,3	88,1	2,0	2,6
2	6	87,8	88,0	2,0	1,5
3	8	82,9	82,0	2,4	3,3
4	9	77,1	76,4	3,8	6,7

AG: Altersgruppe, n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung.

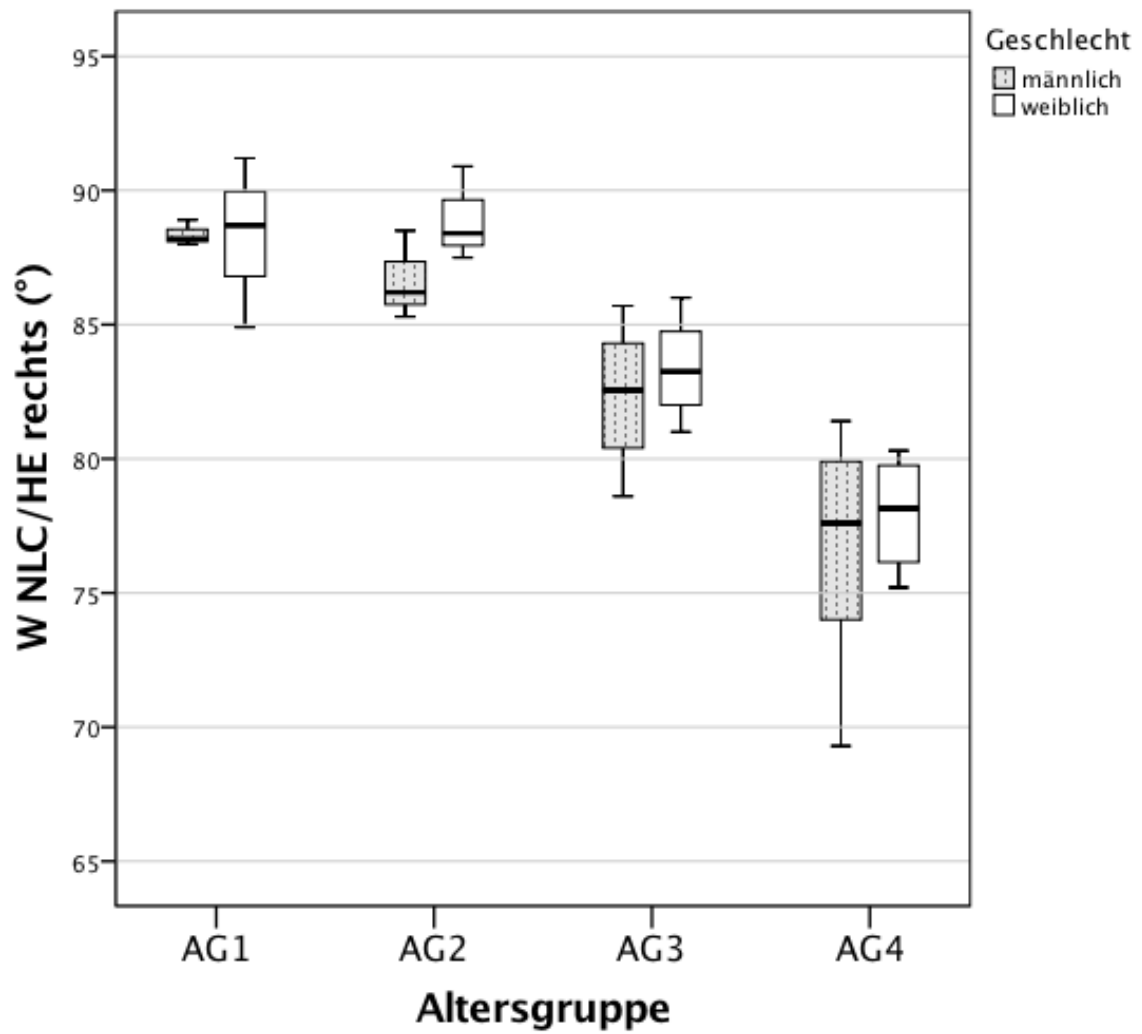


Abb. 23: Boxplots zur Darstellung der Variabilität der Winkel zwischen der Achse des rechten Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene männlicher und weiblicher Tiere von *Macaca fuscata* in verschiedenen postnatalen Altersgruppen.

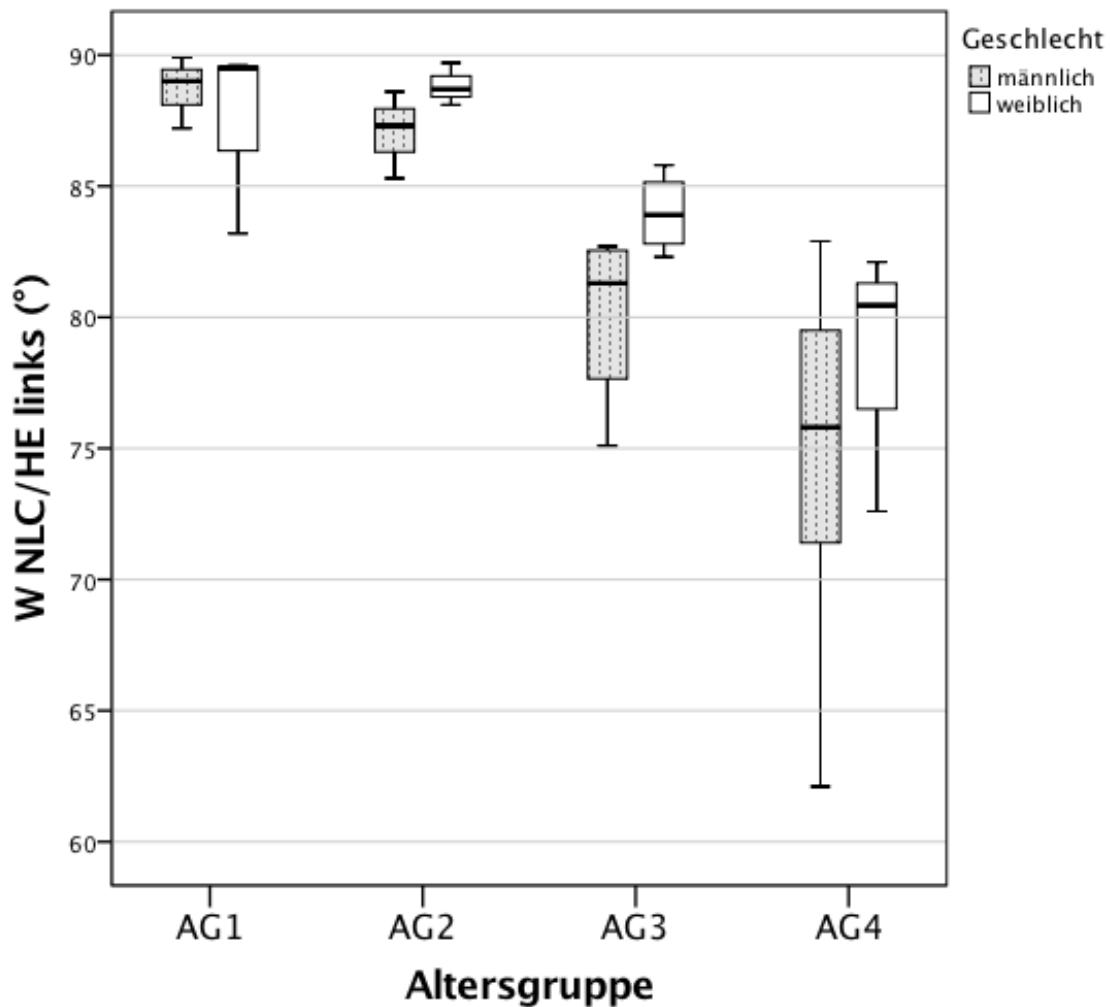


Abb. 24: Boxplots zur Darstellung der Variabilität der Winkel zwischen der Achse des linken Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene männlicher und weiblicher Tiere von *Macaca fuscata* in verschiedenen postnatalen Altersgruppen.

4.1.5 Wachstum des Canalis nasolacrimalis

Zur Untersuchung des Wachstumsverhaltens sowie des Geschlechtsdimorphismus des Canalis nasolacrimalis wurde eine einfache lineare Regressionsanalyse durchgeführt. Dabei wurden die von uns erhobenen Messwerte in Relation zu anderen Schädelmaßen gesetzt, da das exakte Lebensalter der Tiere zum Todeszeitpunkt nicht bekannt war. Zunächst wurde mit einer Korrelationsanalyse geprüft, ob ein statistischer Zusammenhang zwischen den Maßen des Canalis nasolacrimalis und weiteren Schädelmaßen besteht. Im Anschluss wurde eine Faktorenanalyse sowie eine einfache lineare Regressionsanalyse durchgeführt, um die Richtung und Wechselseitigkeit dieser Beziehung zu ergründen. Als Bezugsgrößen wurden die Schädellänge und Gesichtsschädelhöhe gewählt, da diese Schädelmaße die höchste Korrelation mit den von uns erhobenen Messwerten für den

Canalis nasolacrimalis zeigten (Tab. 13). Die Berechnung der Regression erfolgte unter Berücksichtigung des Geschlechts der Tiere. So konnte das Wachstum des Canalis nasolacrimalis in funktioneller Beziehung zum Schädel in Tabelle 14 beschrieben und in den Abbildungen 25, 26 und 27 dargestellt werden. Der Signifikanz wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,01$ zugrunde gelegt.

Alle Schädelmaße sind untereinander hochgradig interkorreliert. Das wird durch die Faktorenanalyse bestätigt, bei der ein latenter Faktor, der z.B. als genetischer Faktor interpretiert werden kann, zur Erklärung der Korrelation zwischen den Schädelmaßen ausreicht (nur ein Eigenwert ist größer als 1; durch diese, die 1. Komponente, deren Eigenwert 11,2 beträgt, schöpft man 85 % der Gesamtvarianz aller Merkmale aus; alle Variablen sind durch die Einzelrestvarianz oder englisch „uniqueness“ $< 0,4$ für alle Variablen widergespiegelt wird (Hartung et al. 1995) (Tab. 9-7 im Anhang)). Der Sinus maxillaris ist die Variable, die noch am wenigsten durch die latente Variable erklärt wird (uniqueness: 0,38) (Tab. 9-8 im Anhang).

Das Volumen des Canalis nasolacrimalis ist besonders hoch mit der Schädellänge korreliert. Die Länge des Canalis nasolacrimalis korreliert am stärksten mit der Gesichtsschädelhöhe. Der Winkel zwischen der Achse des Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene weist eine negative Korrelation mit allen Schädelmaßen auf. Besonders hoch ist dabei die negative Korrelation mit der Gesichtsschädelhöhe.

Tab. 13: Korrelationsanalyse zwischen ausgewählten Schädelmaßen und den Maßen des Canalis nasolacimalis. Männliche und weibliche Tiere wurden zusammengefasst (n=29).

	SL	Na-Ba	Na-Pr	V SMR	GL	GB	MAB	BOB	L NLC R	W NLC/HE R
V NLC R	0,798 ***	0,753 ***	0,786 ***	0,592 ***	0,723 ***	0,765 ***	0,745 ***	0,676 ***	0,633 ***	-0,735 ***
SL		0,979 ***	0,975 ***	0,776 ***	0,909 ***	0,938 ***	0,942 ***	0,848 ***	0,808 ***	-0,889 ***
Na-Ba			0,955 ***	0,722 ***	0,905 ***	0,951 ***	0,950 ***	0,841 ***	0,745 ***	-0,845 ***
Na-Pr				0,802 ***	0,912 ***	0,916 ***	0,933 ***	0,818 ***	0,821 ***	-0,926 ***
V SMR					0,712 ***	0,616 ***	0,717 ***	0,653 ***	0,626 ***	-0,800 ***
GL						0,890 ***	0,895 ***	0,723 ***	0,766 ***	-0,876 ***
GB							0,880 ***	0,753 ***	0,767 ***	-0,811 ***
MAB								0,806 ***	0,790 ***	-0,874 ***
BOB									0,560 **	-0,771 ***
L NLC R										-0,796 ***

***p<0,001, **p<0,01, V NLC R: Volumen des rechten Canalis nasolacimalis, SL: Schädelhöhe, Na-Ba: Schädelbasislänge, Na-Pr: Gesichtsschädelhöhe, V SMR: Volumen des rechten Sinus maxillaris, GL: Gaumenlänge, GB: Gaumenbreite, MAB: Maxilloalveolarbreite, BOB: Biorbitalbreite, L NLC R: Länge des rechten Canalis nasolacimalis, W NLC/HE R: Winkel zwischen der Achse des rechten Canalis nasolacimalis und der Horizontalebene.

Volumen des Canalis nasolacrimalis

Es wird deutlich, dass die Volumina des Canalis nasolacrimalis beider Geschlechter mit zunehmender Schädellänge kontinuierlich größer wurden. Das Bestimmtheitsmaß R^2 war für männliche Tiere deutlich höher als für weibliche Tiere. Dies deutet auf eine nicht-optimale Modellanpassung hin. Der Vergleich der Regressionsgeraden der männlichen und weiblichen Tiere zeigte keinen statistisch signifikanten Unterschied (Tab. 9-4 im Anhang). Der Unterschied der Geradensteigung ist als zufällig zu betrachten.

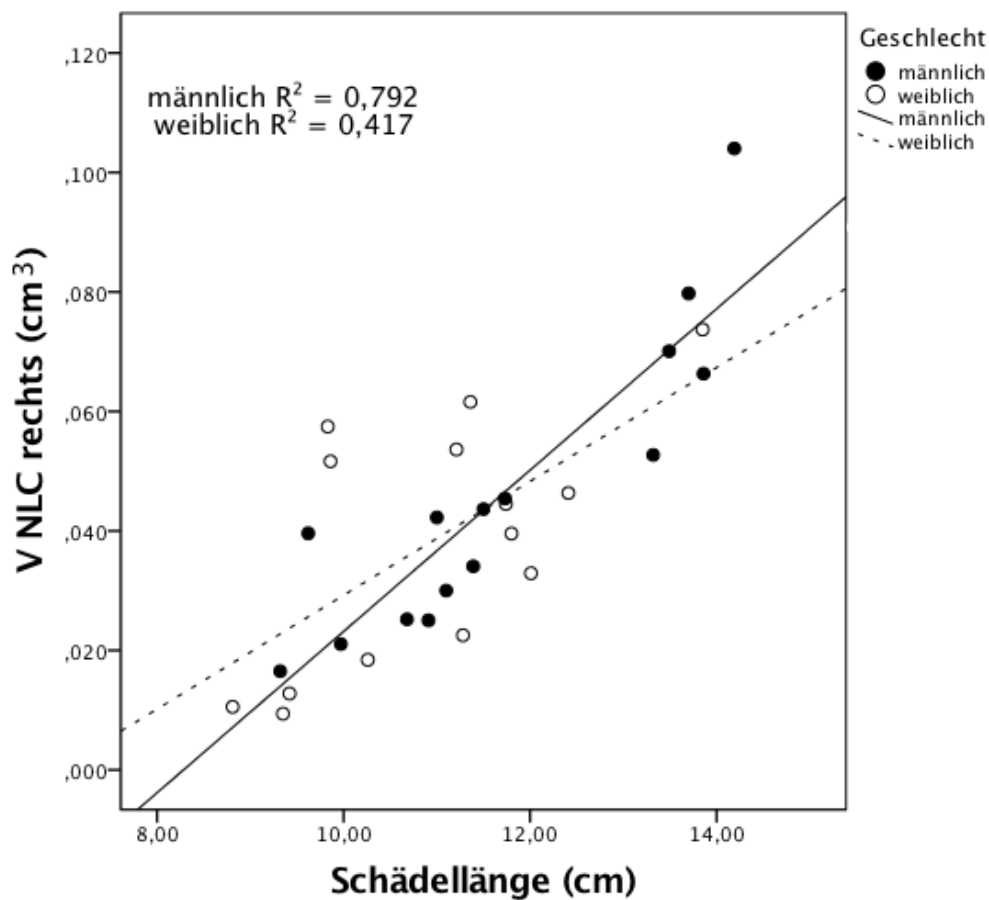


Abb. 25: Graphische Darstellung des Ergebnisses der linearen Regressionsanalyse für die Merkmalspaare Volumen des rechten Canalis nasolacrimalis (V NLC R) und Schädellänge von *Macaca fuscata*. Die Gleichungen der Regressionsgeraden sind in Tabelle 14 aufgeführt.

Länge des Canalis nasolacrimalis

Die Länge des Canalis nasolacrimalis beider Geschlechter nahm mit zunehmender Gesichtshöhe kontinuierlich zu. Das Bestimmtheitsmaß R^2 war für männliche Tiere

deutlich höher als für weibliche Tiere. Dies deutet auf eine nicht-optimale Modellanpassung hin. Der Vergleich der Regressionsgeraden der männlichen und weiblichen Tiere zeigte keinen statistisch signifikanten Unterschied (Tab. 9-5 im Anhang). Der Unterschied der Geradensteigung ist als zufällig zu betrachten.

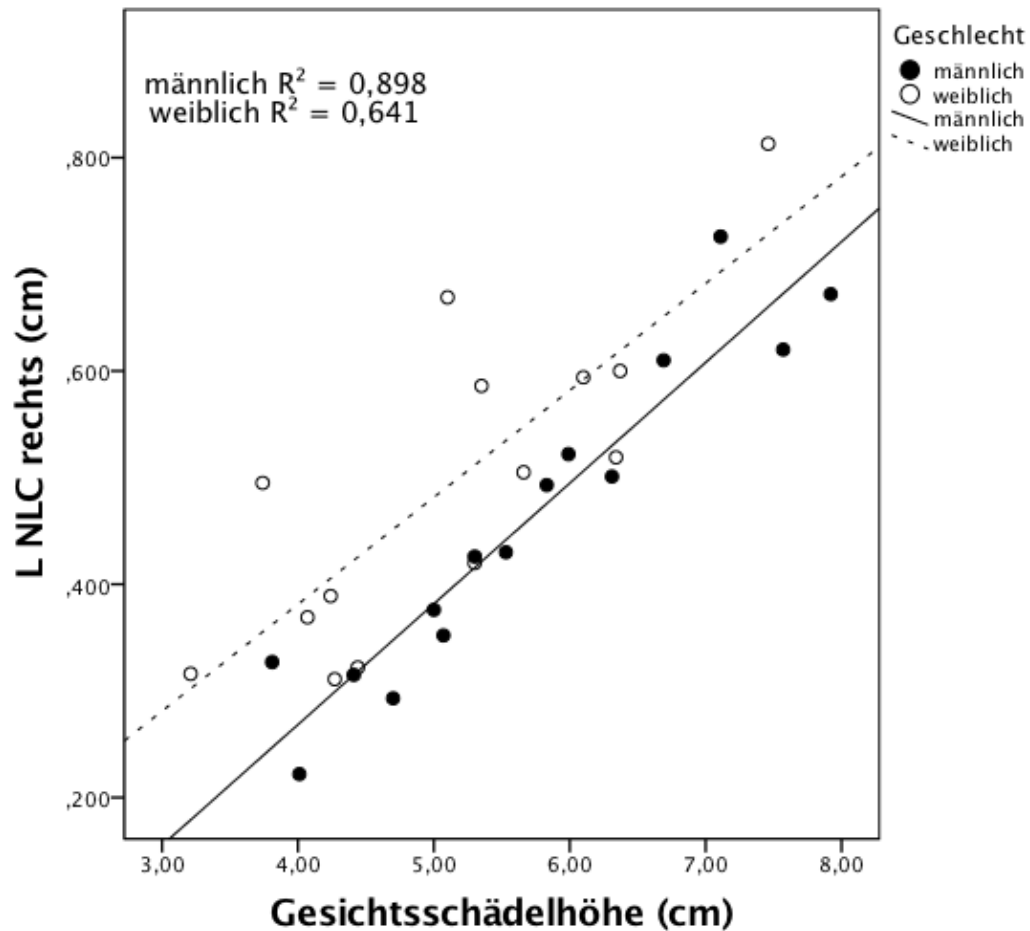


Abb. 26: Graphische Darstellung des Ergebnisses der linearen Regressionsanalyse für die Merkmalspaare Länge des rechten Canalis nasolacrimalis (L NLC R) und Gesichtsschädelhöhe von *Macaca fuscata*. Die Gleichungen der Regressionsgeraden sind in Tabelle 14 aufgeführt.

Achsenneigung des Canalis nasolacrimalis

Der Winkel zwischen der Achse des Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene beider Geschlechter nahm mit zunehmender Gesichtshöhe kontinuierlich ab. Das Bestimmtheitsmaß R^2 war für männliche und weibliche Tiere annähernd gleich hoch. Der Vergleich der Regressionsgeraden der männlichen und weiblichen Tiere zeigte keinen statistisch signifikanten Unterschied (Tab. 9-6 im Anhang). Der Unterschied der Geradensteigung ist als zufällig zu betrachten.

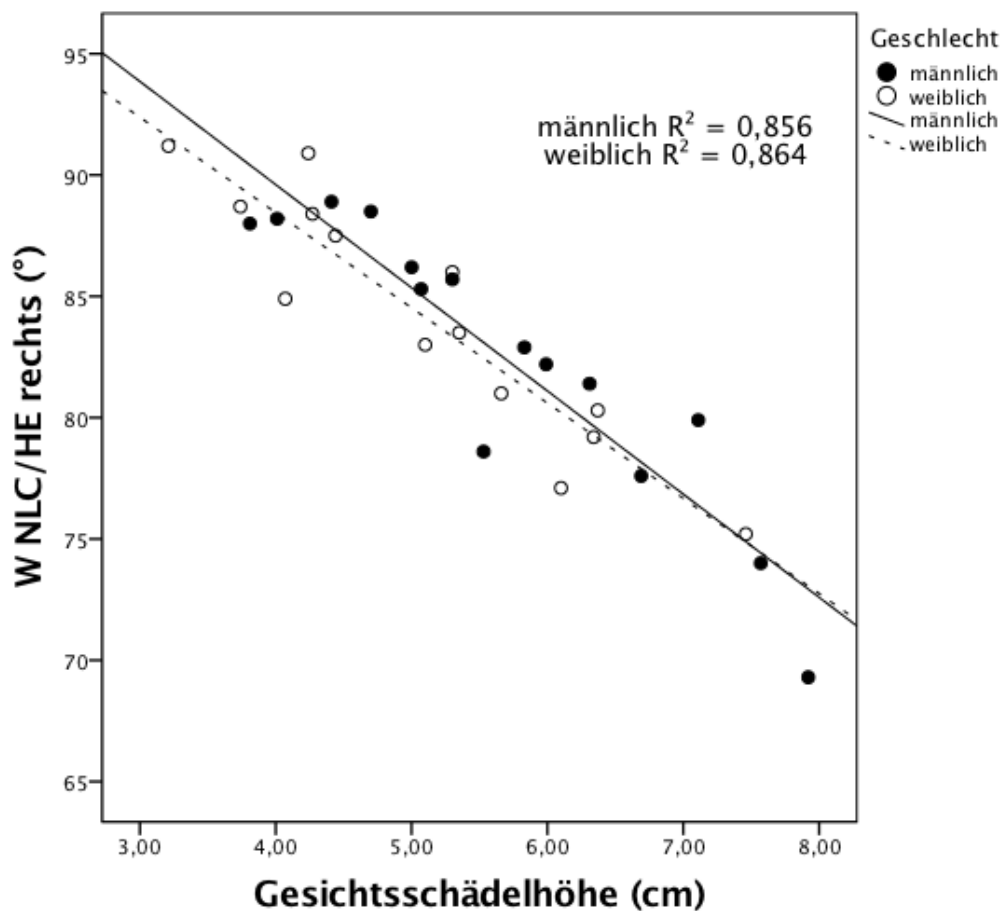


Abb. 27: Graphische Darstellung des Ergebnisses der linearen Regressionsanalyse für die Merkmalspaare Winkel zwischen der Achse des rechten Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene (W NLC/HE R) und Gesichtsschädelhöhe von *Macaca fuscata*. Die Gleichungen der Regressionsgeraden sind in Tabelle 14 aufgeführt.

Tab. 14: Ergebnisse der Regressionsanalyse zur Untersuchung des Wachstums des Canalis nasolacrimalis von *Macaca fuscata*. Männliche und weibliche Tiere wurden getrennt betrachtet.

korrelierende Merkmalspaare	Regressionsgleichungen		R ²	
	m	w	R ² m	R ² w
V NLC R - SL	y= -0,112+0,014x	y= -0,066+0,010x	0,792	0,417
L NLC R - Na-Pr	y=-0,184+0,113x	y=-0,020+0,100x	0,898	0,641
W NLC/HE R - Na-Pr	y=106,62-4,25x	y= 104,16-3,93x	0,856	0,864

V NLC R: Volumen des rechten Canalis nasolacrimalis, L NLC R: Länge des rechten Canalis nasolacrimalis, W NLC/HE R: Winkel zwischen der Achse des rechten Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene, SL: Schädellänge, Na-Pr: Gesichtsschädelhöhe, R²: Bestimmtheitsmaß, m: männlich, w: weiblich.

4.2 Vergleich des Canalis nasolacrimalis lokaler Populationen von *Macaca fuscata*

4.2.1 Volumen des Canalis nasolacrimalis

In diesem Teil der Arbeit wurden adulte Individuen verschiedener lokaler Populationen von *Macaca fuscata* unterschiedlicher geographischer Regionen verglichen. Einen Überblick über die Mittelwerte der Volumina des Canalis nasolacrimalis gibt Tabelle 15. Das größte Volumen des Canalis nasolacrimalis wiesen Tiere aus der Region um Kinkazan im Norden Japans auf. Bei Tieren aus der Region um Shimokita und Koshima wurde hingegen ein kleineres Volumen festgestellt. Tiere aus den Regionen um Yakushima und Shodoshima lagen dabei im mittleren Bereich. Der Unterschied zwischen dem kleinsten und dem größten Volumen betrug für den rechten Canalis nasolacrimalis 33 % und für den linken Canalis nasolacrimalis 21 %. Abbildung 28 verdeutlicht graphisch die Unterschiede der Volumina mit Angabe der durchschnittlichen Januartemperatur oberhalb der Balken. Es fällt auf, dass die Standardabweichung bei Tieren aus der Region um Shodoshima und Koshima besonders klein war. Tiere aus den anderen drei Regionen zeigten eine fast doppelt so hohe Standardabweichung der Mittelwerte des Volumens des Canalis nasolacrimalis.

Tab. 15: Mittelwerte und Standardabweichungen der Volumina des Canalis nasolacrimalis adulter Individuen verschiedener Populationen von *Macaca fuscata*. Angaben in cm³.

		\bar{x}		SD		rechts und links zusammengefasst		
Population	n	rechts	links	rechts	links	n	\bar{x}	SD
Shimokita	8	0,046	0,04	0,019	0,023	16	0,043	0,021
Kinkazan	8	0,061	0,051	0,029	0,022	16	0,056	0,025
Shodoshima	7	0,048	0,05	0,013	0,012	14	0,049	0,012
Koshima	6	0,046	0,043	0,013	0,012	12	0,044	0,012
Yakushima	9	0,052	0,048	0,024	0,085	18	0,050	0,022

n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung. Männliche und weibliche Tiere wurden zusammengefasst.

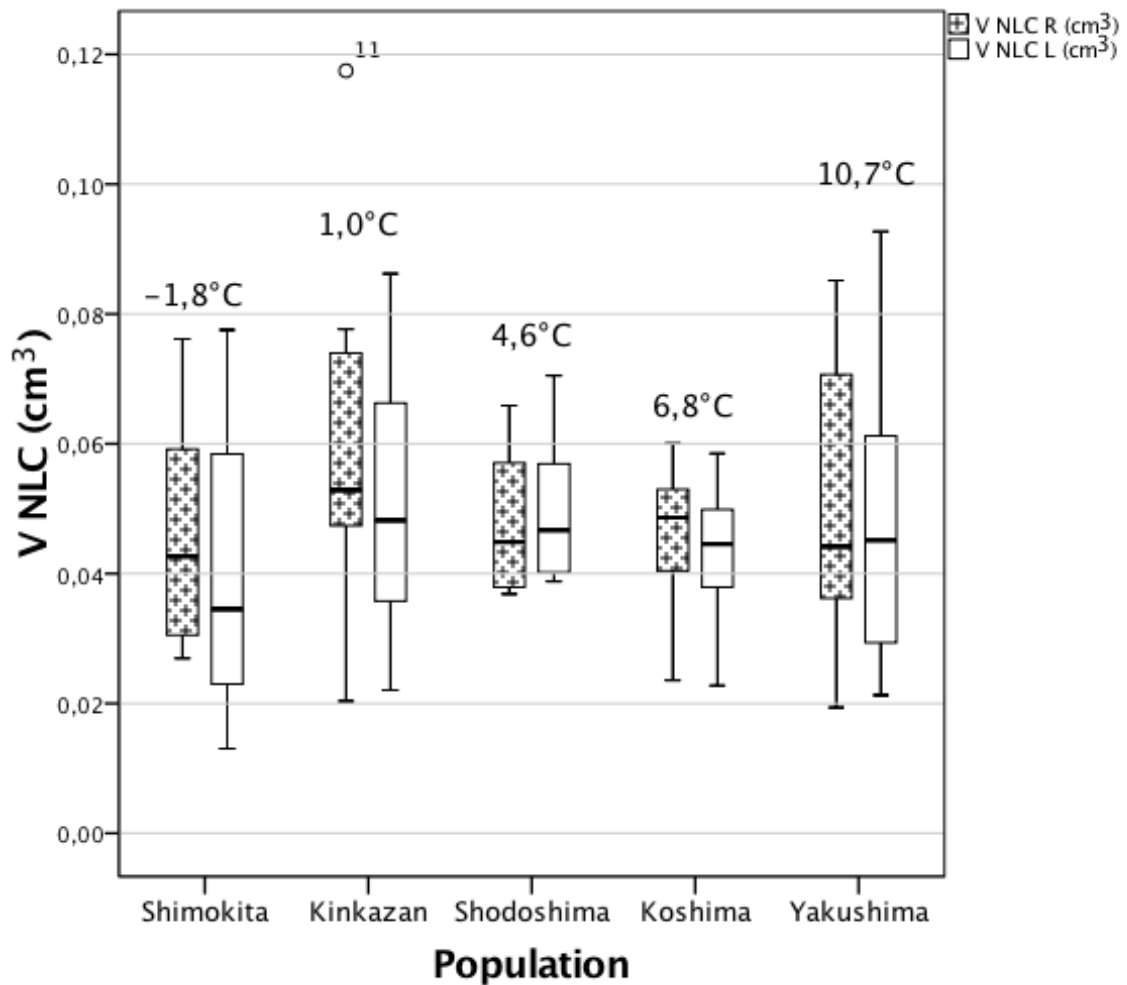


Abb. 28: Boxplots zur Darstellung der Unterschiede der Volumina des Canalis nasolacrimalis verschiedener Populationen von *Macaca fuscata*. Oberhalb der Balken ist die durchschnittliche Temperatur im Januar eingetragen. Der Kreis stellt einen Ausreißer dar.

Tabelle 15 und Abbildung 28 verdeutlichen einen Unterschied zwischen den Volumina des Canalis nasolacrimalis der einzelnen Populationen. Um zu prüfen, wo diese Unterschiede liegen, wurden ein LSD-Post-Hoc Test sowie ein Bonferroni-Test durchgeführt (Tab. 16). Beide Post-Hoc-Tests zeigten keine statistisch signifikanten Unterschiede für die Mittelwerte des Volumens des Canalis nasolacrimalis zwischen den verschiedenen Populationen.

Tab. 16: LSD-Test und Bonferroni Post-Hoc Test für die Mittelwerte die Volumina des Canalis nasolacrimalis verschiedener Populationen von *Macaca fuscata*.

V NLC R	Population			
	Kinkazan	Shodoshima	Koshima	Yakushima
Shimokita	0,158	0,834	0,982	0,571
Kinkazan		0,245	0,183	0,367
Shodoshima			0,828	0,741
Koshima				0,585
V NLC L				
	Kinkazan	Shodoshima	Koshima	Yakushima
Shimokita	0,284	0,350	0,801	0,406
Kinkazan		0,918	0,456	0,781
Shodoshima			0,529	0,872
Koshima				0,610

V NLC R: Volumen des rechten Canalis nasolacrimalis, V NLC L: Volumen des linken Canalis nasolacrimalis.

4.2.2 Länge des Canalis nasolacrimalis

Einen Überblick über die Mittelwerte der Länge des Canalis nasolacrimalis gibt Tabelle 17. Die längsten Canalis nasolacrimalis wiesen Tiere aus der Region um Kinkazan auf, die kürzesten Tränenasenkanäle wurden bei Tieren aus der Region um Shodoshima vorgefunden. Die Messwerte der Tiere aus den Regionen um Shimokita, Koshima und Yakushima lagen im mittleren Bereich. Dabei betrug der Unterschied zwischen den Werten der Tiere aus der Region Kinkazan und den Tieren aus der Region um Shodoshima 30 % auf der rechten Seite und 29 % auf der linken Seite. Abbildung 29 verdeutlicht graphisch die Unterschiede der Länge mit Angabe der durchschnittlichen Januartemperatur oberhalb der Balken. Es fällt auf, dass die Standardabweichung bei Tieren aus der Region um Shodoshima besonders klein war, jedoch wiesen Tiere aus der Region um Kinkazan eine mehr als doppelt so hohe Standardabweichung der Mittelwerte der Länge des Canalis nasolacrimalis auf.

Tab. 17: Mittelwerte und Standardabweichungen der Länge des Canalis nasolacrimalis adulter Individuen verschiedener Populationen von *Macaca fuscata*. Angaben in cm.

		\bar{x}		SD		rechts und links zusammengefasst		
Population	n	rechts	links	rechts	links	n	\bar{x}	SD
Shimokita	8	0,475	0,478	0,076	0,098	16	0,477	0,085
Kinkazan	8	0,605	0,605	0,124	0,116	16	0,605	0,116
Shodoshima	7	0,418	0,43	0,043	0,051	14	0,424	0,046
Koshima	6	0,543	0,564	0,070	0,09	12	0,553	0,078
Yakushima	9	0,452	0,458	0,085	0,081	18	0,455	0,081

n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung. Männliche und weibliche Tiere wurden zusammengefasst.

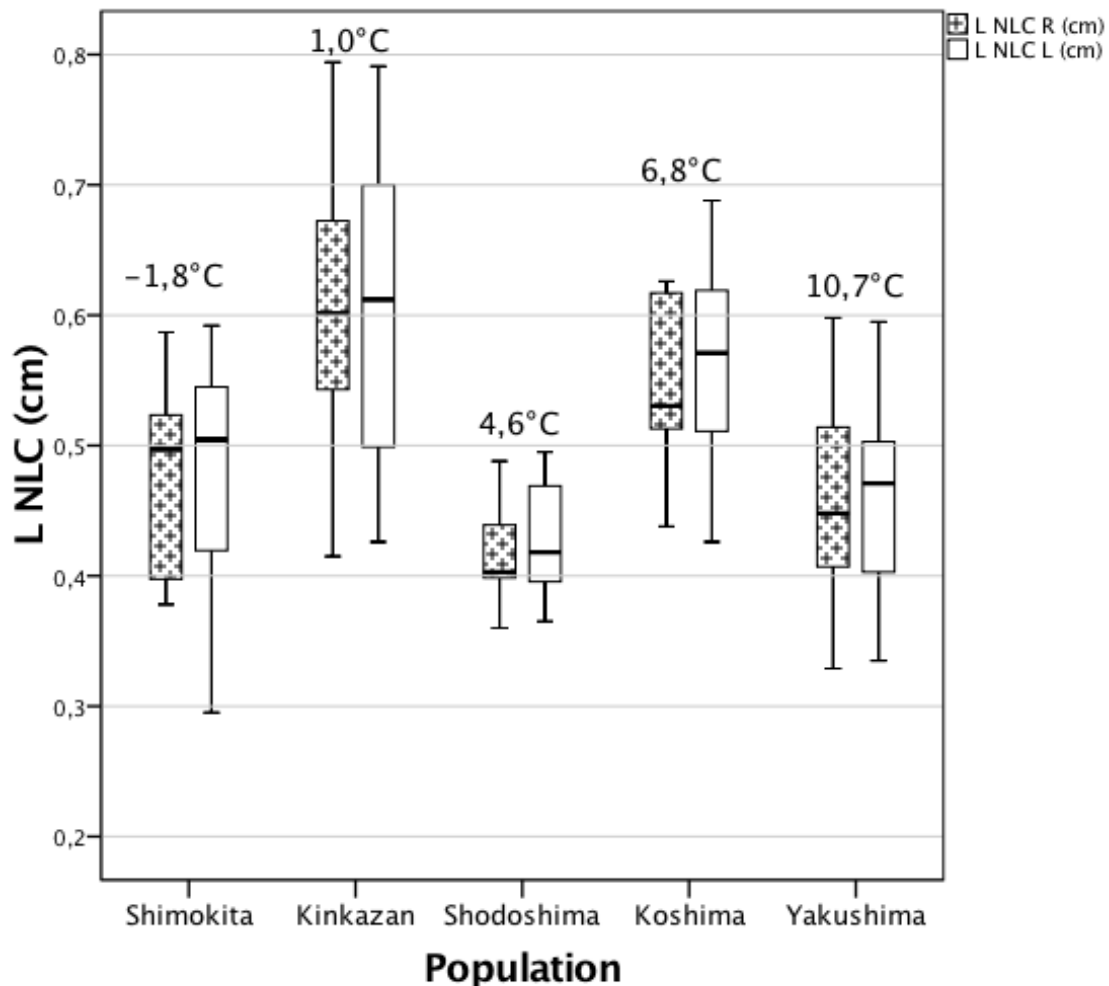


Abb. 29: Boxplots zur Darstellung der Unterschiede der Länge des Canalis nasolacrimalis verschiedener Populationen von *Macaca fuscata*. Oberhalb der Balken ist die durchschnittliche Temperatur im Januar eingetragen.

Tabelle 17 und Abbildung 29 verdeutlichen einen Unterschied zwischen der Länge des Canalis nasolacrimalis zwischen den einzelnen Populationen. Um zu prüfen, wo diese Unterschiede liegen, wurden ein LSD-Post-Hoc Test sowie ein Bonferroni-Test durchgeführt (Tab. 18). Zwischen den Populationen aus der Region um Kinkazan und Shimokita, zwischen Kinkazan und Shodoshima sowie zwischen Kinkazan und Yakushima bestanden statistisch signifikante Unterschiede bezüglich der Mittelwerte der Länge des Canalis nasolacrimalis.

Tab. 18: LSD-Test und Bonferroni Post-Hoc Test für die Mittelwerte der Länge des Canalis nasolacrimalis verschiedener Populationen von *Macaca fuscata*.

L NLC R	Population			
	Kinkazan	Shodoshima	Koshima	Yakushima
Shimokita	0,004**	0,193	0,143	0,567
Kinkazan		0,0001***	0,171	0,001***
Shodoshima			0,011*	0,426
Koshima				0,046*
L NLC L				
Shimokita	0,01**	0,319	0,094	0,656
Kinkazan		0,001***	0,424	0,003**
Shodoshima			0,013*	0,548
Koshima				0,037*

L NLC R: Länge des rechten Canalis nasolacrimalis, L NLC L: Länge des linken Canalis nasolacrimalis, LSD-Post-Hoc Test: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, Bonferroni-Test: grün: signifikant.

4.2.3 Achsenneigung des Canalis nasolacrimalis

Einen Überblick über die Mittelwerte der Winkel zwischen der Achse des Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene gibt Tabelle 19. Den größten Winkel wiesen Tiere aus der Region um Kinkazan auf, bei Tieren aus der Region um Yakushima war der Winkel am kleinsten. Die Messwerte der Tiere aus den Regionen um Shimokita, Koshima und Shodoshima lagen im mittleren Bereich. Dabei betrug der Unterschied zwischen den Winkelwerten der Tiere aus der Region um Kinkazan im Vergleich zu Tieren aus der

Region um Yakushima, 10 %. Abbildung 30 verdeutlicht graphisch die Unterschiede der Winkel mit Angabe der durchschnittlichen Januartemperatur oberhalb der Balken. Es fällt auf, dass die Standardabweichung der Mittelwerte des Winkels zwischen der Achse des Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene bei Tieren aus den Regionen um Koshima und Yakushima im Vergleich mit Tieren der Populationen aus den Regionen um Shimokita, Kinkazan und Shodoshima fast doppelt so hoch war.

Tab. 19: Mittelwerte und Standardabweichungen des Winkels zwischen der Achse des Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene adulter Individuen verschiedener Populationen von *Macaca fuscata*. Angaben in °.

		\bar{x}		SD		rechts und links zusammengefasst		
Population	n	rechts	links	rechts	links	n	\bar{x}	SD
Shimokita	8	78,3	79,8	3,1	3,2	16	79,1	3,1
Kinkazan	8	82,7	82,4	3,3	3,5	16	82,5	3,3
Shodoshima	7	79,1	78,8	4,4	2,8	14	78,9	3,5
Koshima	6	80,5	79,3	7,3	7,6	12	79,9	7,1
Yakushima	9	73,9	73,4	7,3	7,8	18	73,6	7,4

n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung. Männliche und weibliche Tiere wurden zusammengefasst.

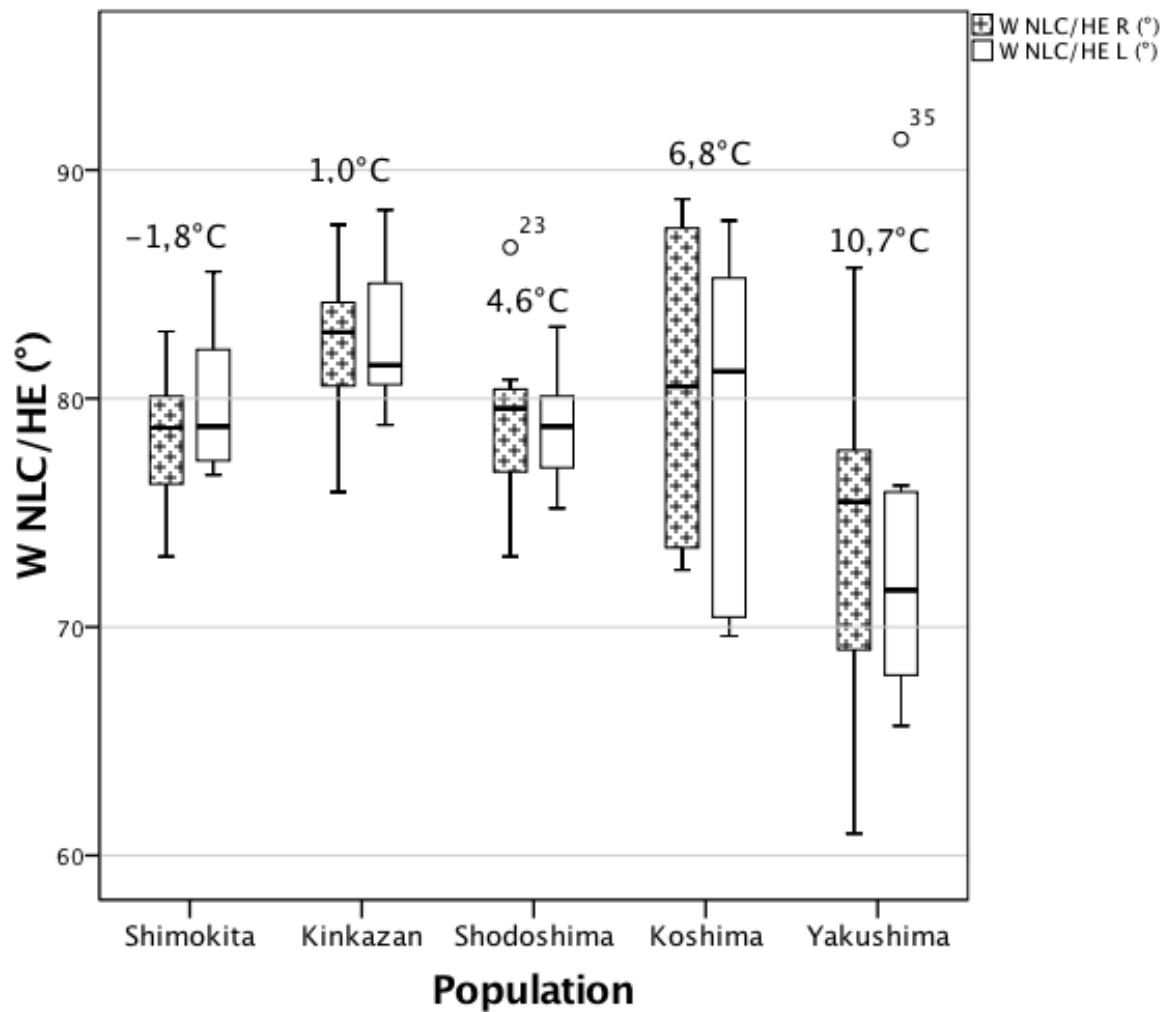


Abb. 30: Boxplots zur Darstellung der Unterschiede des Winkels zwischen der Achse des Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene verschiedener Populationen von *Macaca fuscata*. Oberhalb der Balken ist die durchschnittliche Temperatur im Januar eingetragen. Die Kreise stellen Ausreißer dar.

Tabelle 19 und Abbildung 30 verdeutlichen einen Unterschied zwischen den einzelnen Populationen zwischen dem Winkel der Achse des Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene. Um zu prüfen, wo diese Unterschiede liegen, wurden ein LSD-Post-Hoc Test und ein Bonferroni-Test durchgeführt (Tab. 20). Zwischen den Populationen der Tiere aus den Regionen um Yakushima und Kinkazan, zwischen Yakushima und Koshima sowie zwischen Yakushima und Shimokita bestanden statistisch signifikante Unterschiede bezüglich des Winkels zwischen der Achse des Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene.

Tab. 20: LSD-Test und Bonferroni Post-Hoc Test für die Mittelwerte des Winkels zwischen der Achse des Canalis nasolacrimalis rechts und der Horizontalebene der verschiedenen Populationen von *Macaca fuscata*.

W NLC/HE R	Population			
	Kinkazan	Shodoshima	Koshima	Yakushima
Shimokita	0,140	0,769	0,443	0,101
Kinkazan		0,253	0,538	0,003**
Shodoshima			0,635	0,062
Koshima				0,025*
W NLC/HE L				
	Kinkazan	Shodoshima	Koshima	Yakushima
Shimokita	0,300	0,705	0,845	0,020*
Kinkazan		0,171	0,250	0,001***
Shodoshima			0,871	0,057
Koshima				0,048*

W NLC/HE R: Winkel zwischen der Achse des rechten Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene, W NLC/HE L: Winkel zwischen der Achse des linken Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene, LSD-Post-Hoc Test: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ Bonferroni-Test: grün: signifikant.

Die Untersuchung der verschiedenen Populationen deutete darauf hin, dass bei Tieren aus der Region um Kinkazan der größte Canalis nasolacrimalis bezüglich Volumen, Strecke und Winkel vorzufinden ist. Die Standardabweichung aller erhobenen Mittelwerte ist mit einer Ausnahme bei Tieren aus der Region um Shodoshima am kleinsten. Auf Korrelationsanalysen wurde an dieser Stelle verzichtet, weil der Stichprobenumfang pro Population zu gering ist. Insbesondere wurde auf eine Faktorenanalyse verzichtet, weil nur eine Altersgruppe zur Verfügung steht und somit die Varianz zu gering ist.

4.2.4 Vergleich des Canalis nasolacimalis mit geographischen Daten

Um den Anteil des rechten und linken Canalis nasolacimalis am Volumen des Gesamtschädels beurteilen zu können, erfolgte die Berechnung von Indizes für den Canalis nasolacimalis. Den Index errechneten wir mithilfe des Gesichtsschädelvolumens. Die Werte für das Gesichtsschädelvolumen entnahmen wir aus einer vorausgegangenen Arbeit von Balczun (2008). Um den klimatischen Einfluss auf die Ausdehnung des Canalis nasolacimalis zu untersuchen, trugen wir dessen Index gegen den Breitengrad (Abb. 31 und 32) sowie gegen die durchschnittliche Januartemperatur (Abb. 33 und 34) auf. Der Medianwert des Index des rechten und linken Canalis nasolacimalis, aufgetragen gegen die Breitengrade, war bei Tieren aus der Region um Yakushima (30,56°) und Kinkazan (38,15°) am größten (Abb. 31 und 32). Tiere aus der Region um Koshima (31,45°), Shodoshima (34,5°) und Shimokita (41,14°) wiesen einen kleineren Medianwert der Indizes des Canalis nasolacimalis auf. Der Medianwert des Index des rechten und linken Canalis nasolacimalis, aufgetragen gegen die durchschnittliche Januartemperatur, war bei Tieren aus der Region um Kinkazan (1 °C) und Yakushima (10,7 °C) am größten (Abb. 33 und 34). Tiere aus der Region um Shimokita (-1,8 °C), Shodoshima (4,6 °C) und Koshima (6,8 °C) wiesen einen kleineren Medianwert der Indizes des Canalis nasolacimalis auf.

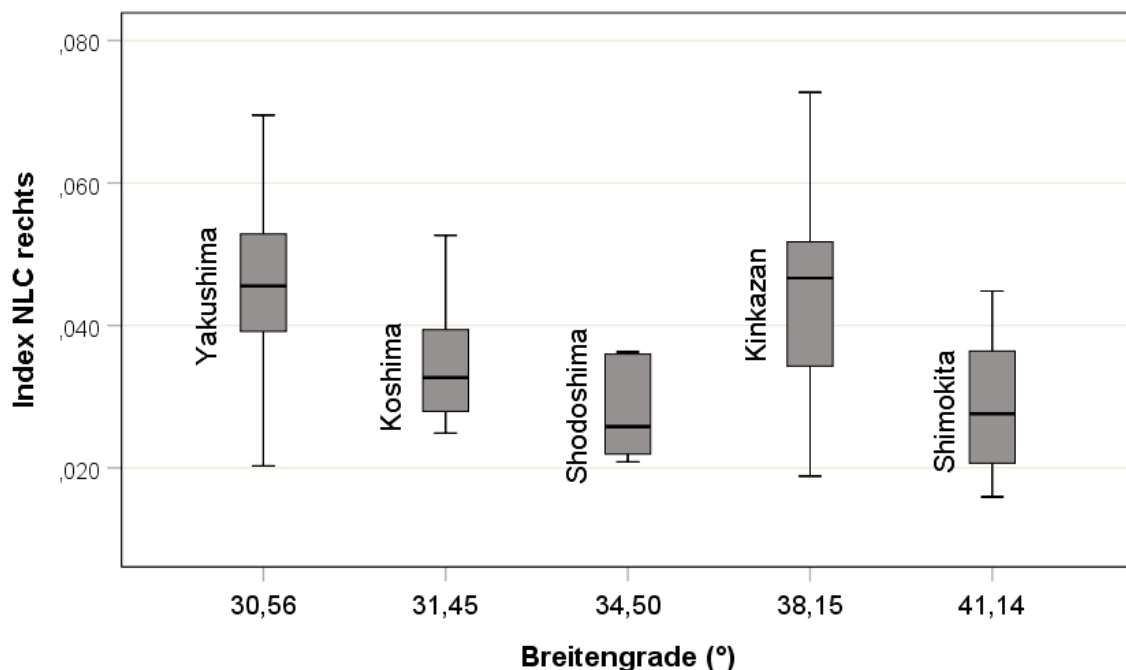


Abb. 31: Boxplots zur Darstellung der Unterschiede des Index des rechten Canalis nasolacimalis mit Darstellung der Breitengrade verschiedener Populationen von *Macaca fuscata*.

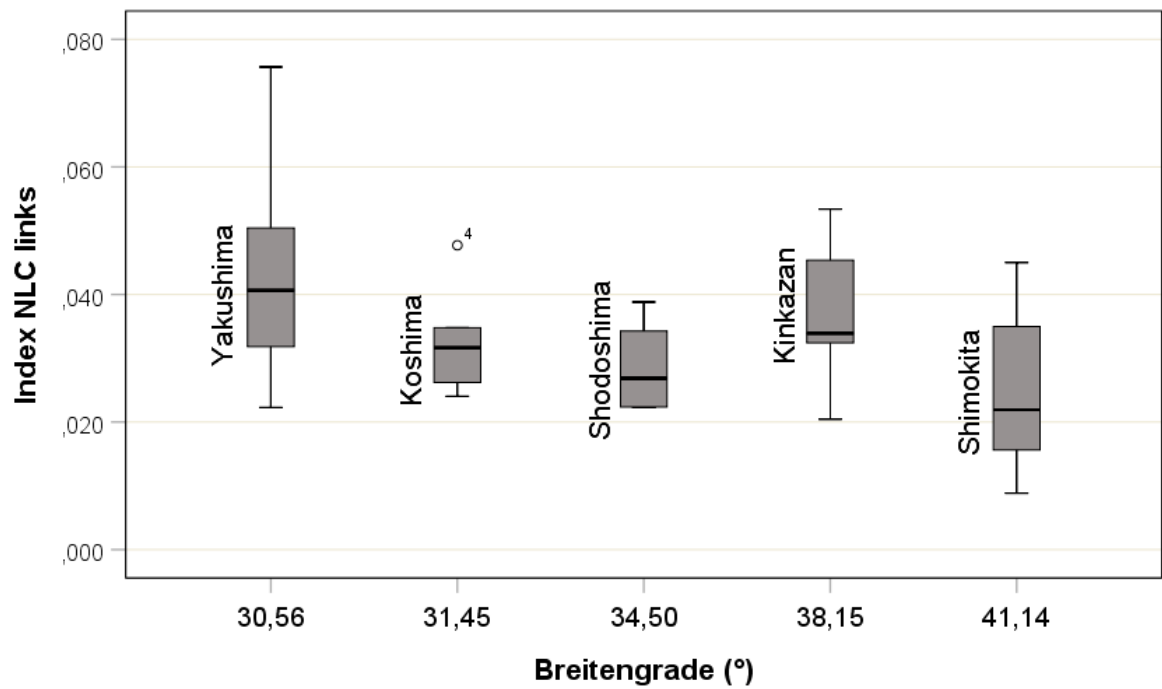


Abb. 32: Boxplots zur Darstellung der Unterschiede des Index des linken Canalis nasolacimalis mit Darstellung der Breitengrade verschiedener Populationen von *Macaca fuscata*. Der Kreis stellt einen Ausreißer dar.

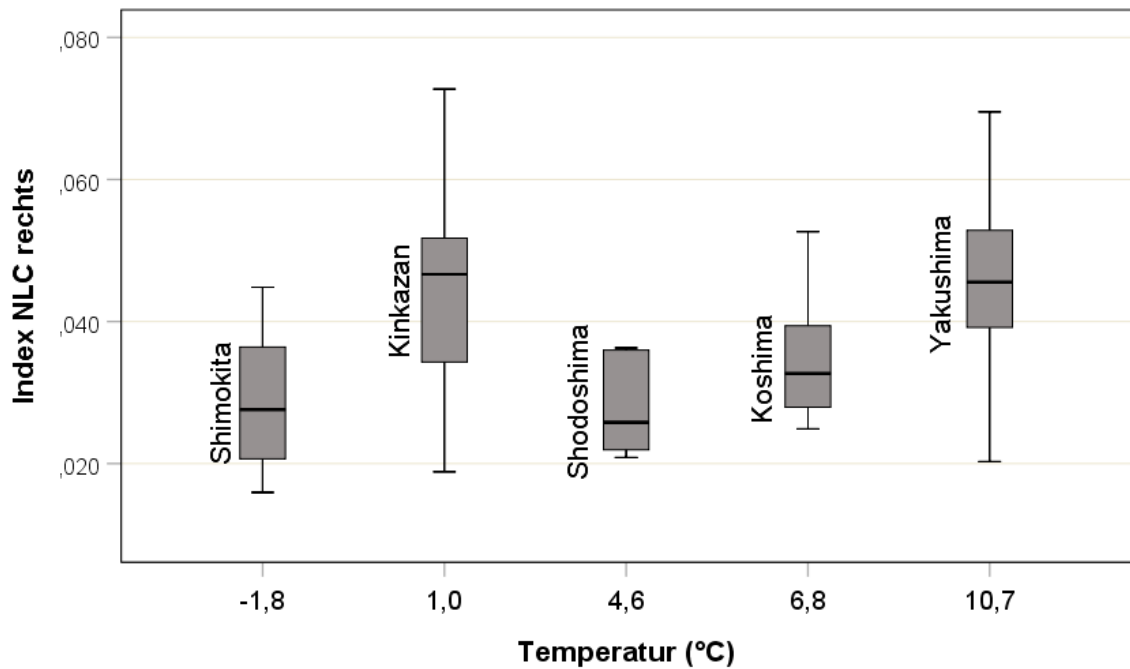


Abb. 33: Boxplots zur Darstellung der Unterschiede des Index des rechten Canalis nasolacimalis mit Darstellung der kältesten Januartemperatur verschiedener Populationen von *Macaca fuscata*.

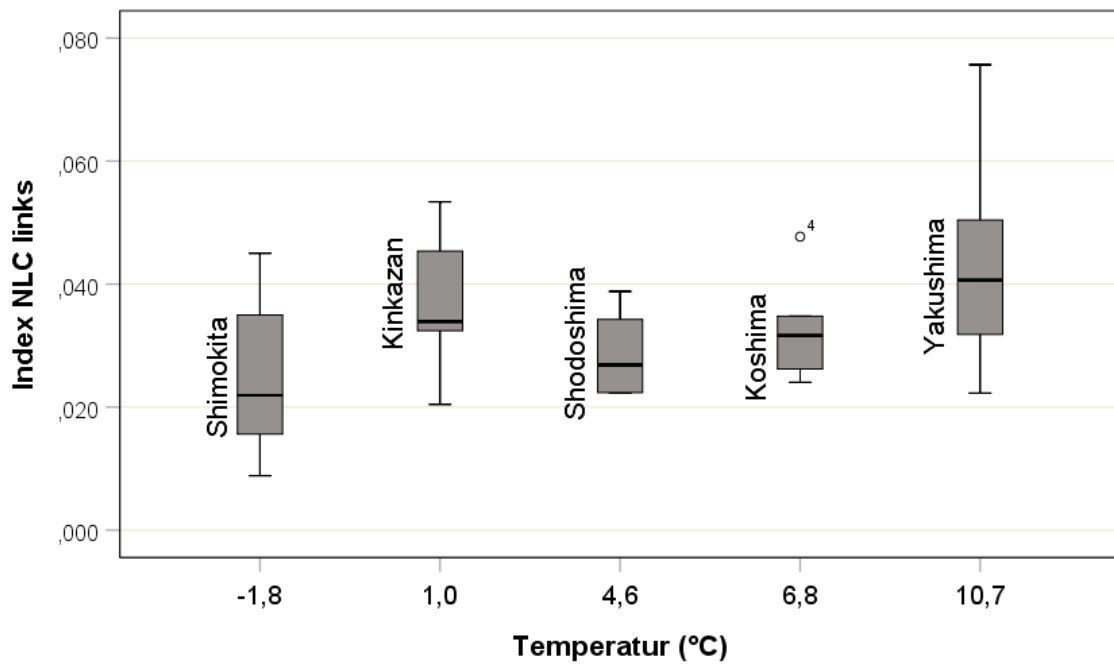


Abb. 34: Boxplots zur Darstellung der Unterschiede des Index des linken Canalis nasolacrimalis mit Darstellung der kältesten Januartemperatur verschiedener Populationen von *Macaca fuscata*. Der Kreis stellt einen Außreiser dar.

Tabelle 21 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen für den Index des rechten und linken Canalis nasolacrimalis. In Anlehnung an die Studie von Rae et al. (2003) wurde eine Korrelationsanalyse nach Pearson für den Index des rechten und linken Canalis nasolacrimalis durchgeführt, um die Einflussfaktoren Temperatur und Breitengrade zu beschreiben (Tab. 22). Wie Tabelle 22 zeigt, korreliert der Index des rechten und linken Canalis nasolacrimalis sowohl mit der Temperatur als auch mit dem Breitengrad. Für den linken Canalis nasolacrimalis ist diese Korrelation statistisch signifikant.

Tab. 21: Überblick über die Mittelwerte und Standardabweichungen des Index des rechten und linken Canalis nasolacrimalis adulter Individuen verschiedener Populationen von *Macaca fuscata* mit Angabe der Breitengrade und der durchschnittlichen Januartemperatur. Männliche und weibliche Tiere wurden zusammengefasst.

Population	n	\bar{x} Index NLC R (\pm SD)	\bar{x} Index NLC L (\pm SD)	Breitengrad (°)	Januar- temperatur (°C)
Shimokita	8	0,0288 (\pm 0,0106)	0,0249(\pm 0,0126)	41,14	-1,8
Kinkazan	8	0,0446 (\pm 0,0162)	0,0371 (\pm 0,0106)	38,15	1,0
Shodoshima	6	0,0278 (\pm 0,0068)	0,0286 (\pm 0,0067)	34,50	4,6
Koshima	6	0,035 (\pm 0,0104)	0,0327 (\pm 0,0084)	31,45	6,8
Yakushima	8	0,0456 (\pm 0,0143)	0,043 (\pm 0,0171)	30,56	10,7

n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung, Index NLC R: Index des rechten Canalis nasolacrimalis, Index NLC L: Index des linken Canalis nasolacrimalis.

Tab. 22: Korrelationsanalyse zwischen dem rechten und linken Index des Canalis nasolacrimalis verschiedener Populationen von *Macaca fuscata* und den Einflussfaktoren Temperatur und Breitengrade. Männliche und weibliche Tiere wurden zusammengefasst (n=5).

	Einflussfaktor	Korrelation nach Pearson r	Signifikanz p
Index NLC R	Breitengrad	-0,2175	0,2026
	Januartemperatur	0,2608	0,1245
Index NLC L	Breitengrad	-0,3298*	0,0495
	Januartemperatur	0,3687*	0,0269

Index NLC R: Index des rechten Canalis nasolacrimalis, Index NLC L: Index des linken Canalis nasolacrimalis, *p<0,05.

4.3 Größe des Canalis nasolacrimalis der Faszikularis-Gruppe

4.3.1 Volumen des Canalis nasolacrimalis

Einen Überblick über die Mittelwerte der Volumina des Canalis nasolacrimalis der Spezies der Faszikularis-Gruppe gibt Tabelle 23. Die Mittelwerte der Volumina des Canalis nasolacrimalis von *Macaca cyclopis* und *Macaca fuscata* waren größer als die Mittelwerte

von *Macaca fascicularis* und *Macaca mulatta*. Zur Visualisierung der Unterschiede wurden die Volumina des Canalis nasolacimalis der verschiedenen Spezies der Faszikularis-Gruppe in den Abbildungen 35 und 36 anhand von Boxplots graphisch dargestellt. Es fällt auf, dass die Standardabweichung der Mittelwerte des Volumens des Canalis nasolacimalis von *Macaca fuscata* im Vergleich mit den Werten von *Macaca cyclopis*, *Macaca fascicularis* und *Macaca mulatta* annähernd doppelt so hoch war.

Tab. 23: Überblick über die Mittelwerte und Standardabweichungen des Volumens des Canalis nasolacimalis der Faszikularis-Gruppe. Männliche und weibliche Tiere wurden zusammengefasst. Angaben in cm³.

		\bar{x}		SD		rechts und links zusammengefasst		
Spezies	n	rechts	links	rechts	links	n	\bar{x}	SD
<i>M.cyclopis</i>	8	0,066	0,062	0,015	0,013	16	0,064	0,014
<i>M.fascicularis</i>	7	0,048	0,038	0,021	0,011	14	0,043	0,017
<i>M.fuscata</i>	9	0,063	0,065	0,022	0,028	18	0,064	0,025
<i>M.mulatta</i>	10	0,046	0,041	0,015	0,015	20	0,043	0,014

n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung.

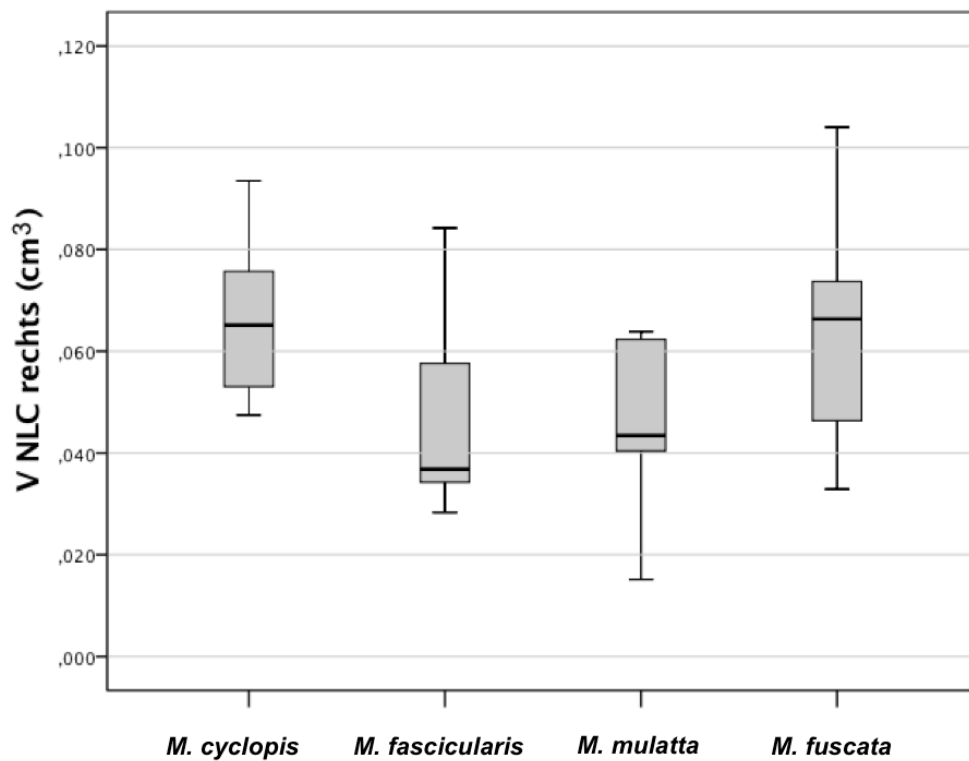


Abb. 35: Boxplots zur Darstellung der Unterschiede der Volumina des rechten Canalis nasolacrimalis der Faszikularis-Gruppe.

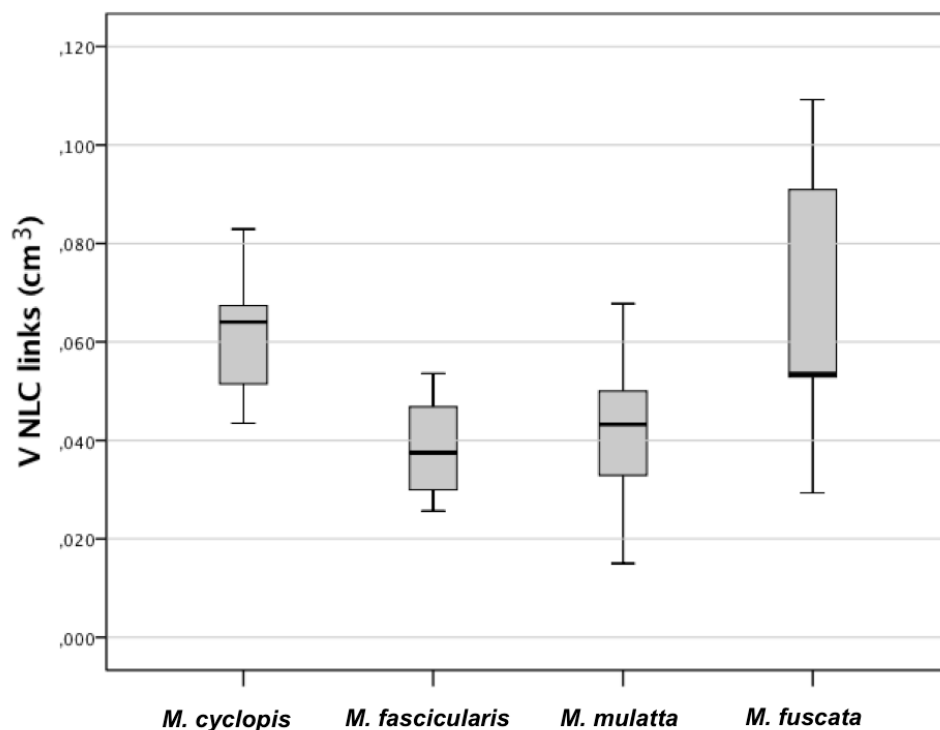


Abb. 36: Boxplots zur Darstellung der Unterschiede der Volumina des linken Canalis nasolacrimalis der Faszikularis-Gruppe.

Tabelle 23 und die Abbildungen 35 und 36 verdeutlichen einen Unterschied zwischen den Volumina des Canalis nasolacrimalis zwischen den einzelnen Spezies der Faszikularis-Gruppe. Um zu prüfen, wo diese Unterschiede liegen, wurden ein LSD-Post-Hoc Test und ein Bonferroni-Test durchgeführt (Tab. 24). In Bezug auf die Mittelwerte des Volumens des rechten Canalis nasolacrimalis bestand zwischen *Macaca cyclopis* und *Macaca mulatta* ein statistisch signifikanter Unterschied. Des Weiteren lagen signifikante Unterschiede zwischen *Macaca fuscata* und *Macaca fascicularis*, zwischen *Macaca fuscata* und *Macaca mulatta*, zwischen *Macaca mulatta* und *Macaca cyclopis* sowie zwischen *Macaca fascicularis* und *Macaca cyclopis* bezüglich der Mittelwerte des Volumens des linken Canalis nasolacrimalis vor.

Tab. 24: LSD-Test und Bonferroni Post-Hoc Test für die Mittelwerte des Volumens des rechten und linken Canalis nasolacrimalis für die verschiedenen Spezies der Faszikularis-Gruppe.

V NLC R	Spezies		
	<i>M.fascicularis</i>	<i>M. mulatta</i>	<i>M.fuscata</i>
<i>M. cyclopis</i>	0,063	0,027*	0,721
<i>M. fascicularis</i>		0,830	0,113
<i>M. mulatta</i>			0,052
V NLC L	0,021*	0,025*	0,724
<i>M. cyclopis</i>			
<i>M. fascicularis</i>			0,008**
<i>M. mulatta</i>			0,009**

V NLC R: Volumen des rechten Canalis nasolacrimalis, V NLC L: Volumen des linken Canalis nasolacrimalis, LSD-Post-Hoc Test: *p<0,05, **p<0,01 Bonferroni-Test: grün: signifikant.

4.3.2 Länge des Canalis nasolacrimalis

Einen Überblick über die Mittelwerte der Länge des Canalis nasolacrimalis der Spezies der Faszikularis-Gruppe gibt Tabelle 25. Der Canalis nasolacrimalis war bei *Macaca fuscata* am längsten. Der kleinste Mittelwert war bei *Macaca mulatta* vorzufinden. *Macaca cyclopis* und *Macaca fascicularis* lagen im mittleren Bereich. Zur Visualisierung der Unterschiede wurden die Längen des Canalis nasolacrimalis der verschiedenen Spezies der

Faszikularis-Gruppe in den Abbildungen 37 und 38 anhand von Boxplots graphisch dargestellt. Es fällt auf, dass die Standardabweichung der Mittelwerte der Länge des Canalis nasolacrimalis von *Macaca fascicularis* verglichen mit den Werten von *Macaca cyclopis* annähernd doppelt so hoch war.

Tab. 25: Überblick über die Mittelwerte und Standardabweichungen der Länge des Canalis nasolacrimalis der Faszikularis-Gruppe. Männliche und weibliche Tiere wurden zusammengefasst. Angaben in cm.

		\bar{x}		SD		rechts und links zusammengefasst		
Spezies	n	rechts	links	rechts	links	n	\bar{x}	SD
<i>M.cyclopis</i>	8	0,578	0,581	0,106	0,085	16	0,580	0,093
<i>M.fascicularis</i>	7	0,611	0,564	0,202	0,190	14	0,588	0,190
<i>M.fuscata</i>	9	0,628	0,625	0,098	0,108	18	0,627	0,100
<i>M.mulatta</i>	10	0,438	0,437	0,142	0,106	20	0,438	0,122

n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung.

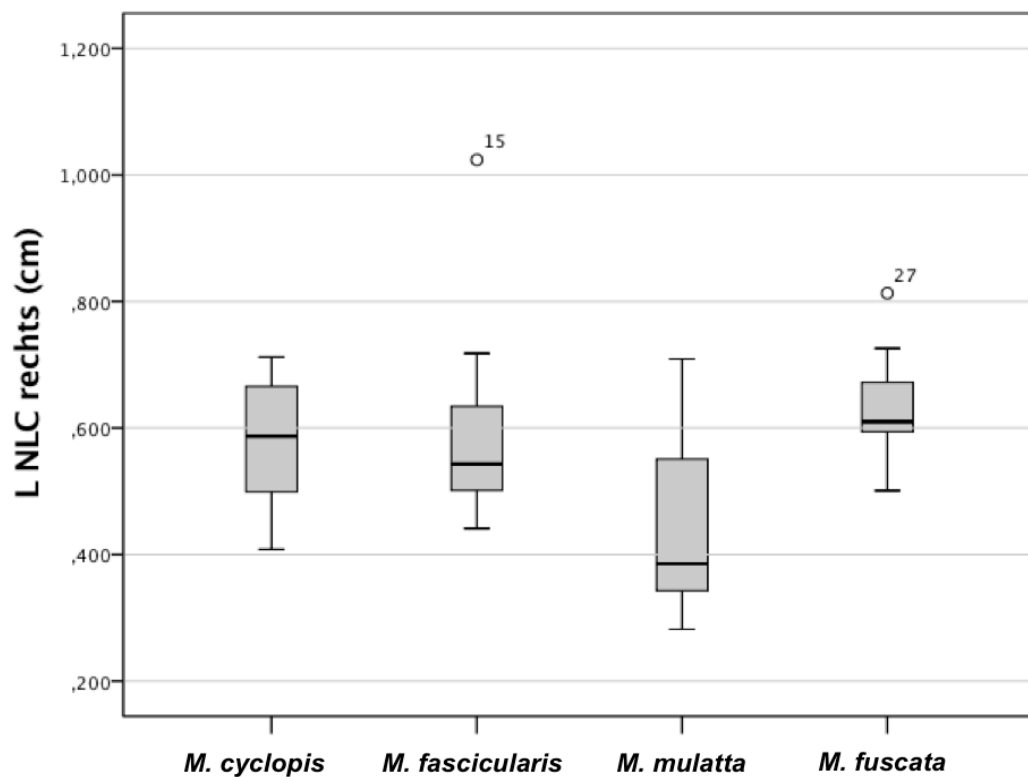


Abb. 37: Boxplots zur Darstellung der Unterschiede der Länge des rechten Canalis nasolacrimalis der Faszikularis-Gruppe. Die Kreise stellen Ausreißer dar.

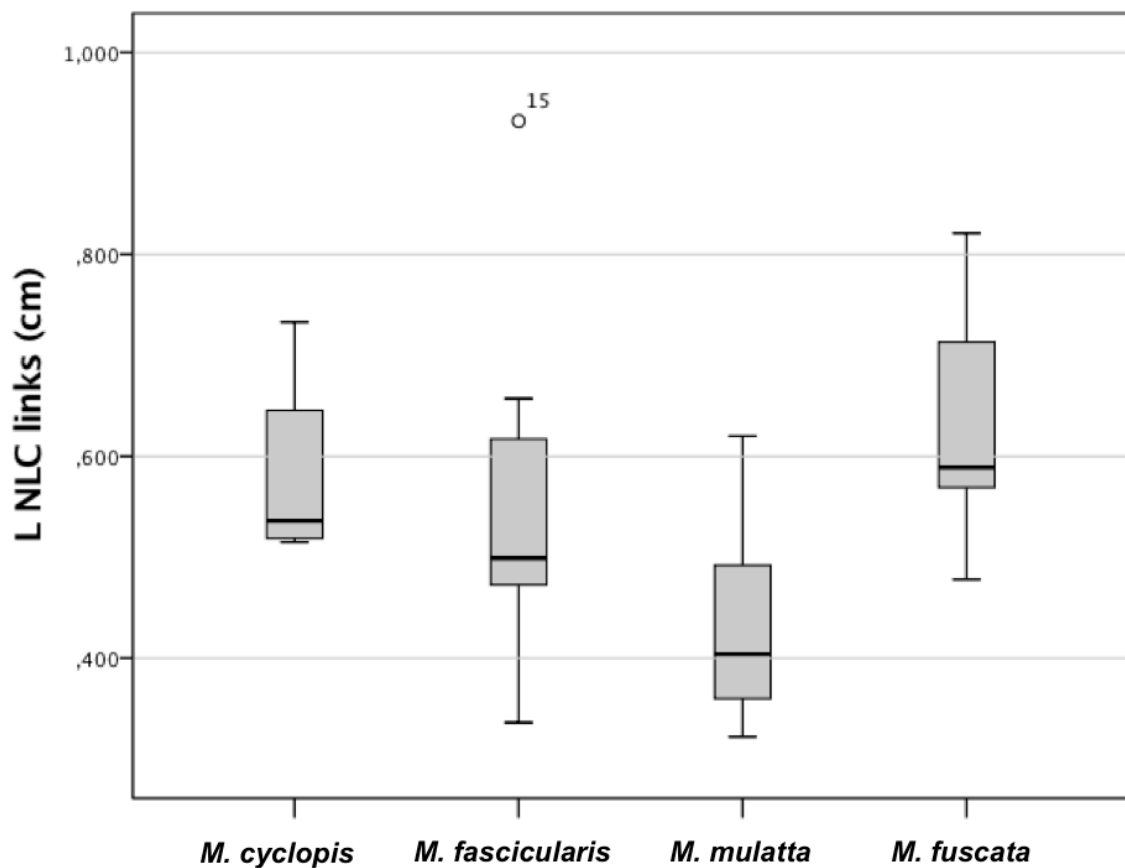


Abb. 38: Boxplots zur Darstellung der Unterschiede der Länge des linken Canalis nasolacrimalis der Faszikularis-Gruppe. Der Kreis stellt einen Ausreißer dar.

Tabelle 25 und die Abbildungen 37 und 38 verdeutlichen einen Unterschied zwischen den Längen des Canalis nasolacrimalis der einzelnen Spezies der Faszikularis-Gruppe. Um zu prüfen, wo diese Unterschiede liegen, wurden ein LSD-Post-Hoc Test und ein Bonferroni-Test durchgeführt (Tab. 26). Es bestand ein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten der Länge des rechten und linken Canalis nasolacrimalis zwischen *Macaca cyclopis* und *Macaca mulatta*, zwischen *Macaca fascicularis* und *Macaca mulatta* sowie zwischen *Macaca fuscata* und *Macaca mulatta*.

Tab. 26: LSD-Test und Bonferroni Post-Hoc Test für die Mittelwerte der Länge des rechten und linken Canalis nasolacimalis der verschiedenen Spezies der Faszikularis-Gruppe.

L NLC R	Spezies		
	<i>M.fascicularis</i>	<i>M. mulatta</i>	<i>M.fuscata</i>
<i>M. cyclopis</i>	0,646	0,042*	0,462
<i>M. fascicularis</i>		0,017*	0,811
<i>M. mulatta</i>			0,006**
L NLC L	0,790	0,021*	0,474
<i>M. cyclopis</i>		0,021*	0,474
<i>M. fascicularis</i>		0,048*	0,337
<i>M. mulatta</i>			0,003**

L NLC R: Länge des rechten Canalis nasolacimalis, L NLC L: Länge des linken Canalis nasolacimalis, LSD-Post-Hoc Test: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, Bonferroni-Test: grün: signifikant.

4.3.3 Achsenneigung des Canalis nasolacimalis

Tabelle 27 gibt einen Überblick über die Mittelwerte der Winkel zwischen der Achse des Canalis nasolacimalis und der Horizontalebene der Spezies der Faszikularis-Gruppe. Die Mittelwerte des Winkels zwischen der Achse des Canalis nasolacimalis und der Horizontalebene waren bei *Macaca cyclopis* und *Macaca mulatta* ähnlich groß. *Macaca fascicularis* wies einen um 6-9 % kleineren Winkelmittelwert auf. Zur Visualisierung der Unterschiede wurden die Winkel zwischen der Achse des Canalis nasolacimalis und der Horizontalebene der verschiedenen Spezies der Faszikularis-Gruppe in den Abbildungen 39 und 40 anhand von Boxplots graphisch dargestellt. Es fällt auf, dass die Standardabweichung der Mittelwerte des Winkels zwischen der Achse des Canalis nasolacimalis und der Horizontalebene von *Macaca cyclopis* verglichen mit den Werten von *Macaca fuscata* fast doppelt so hoch war.

Tab. 27: Überblick über die Mittelwerte und Standardabweichungen des Winkels zwischen der Achse des Canalis nasolacimalis und der Horizontalebene der Faszikularis-Gruppe. Männliche und weibliche Tiere wurden zusammengefasst. Angaben in °.

		\bar{x}		SD		rechts und links zusammengefasst		
Spezies	n	rechts	links	rechts	links	n	\bar{x}	SD
<i>M.cyclopis</i>	8	79,0	77,5	10,1	9,0	16	78,2	9,3
<i>M.fascicularis</i>	7	72,2	72,2	6,7	8,9	14	72,2	7,5
<i>M.fuscata</i>	9	77,1	76,4	3,8	6,7	18	76,7	5,3
<i>M.mulatta</i>	10	78,5	79,5	6,5	6,1	20	79,0	6,1

n: Anzahl, \bar{x} : Mittelwert, SD: Standardabweichung.

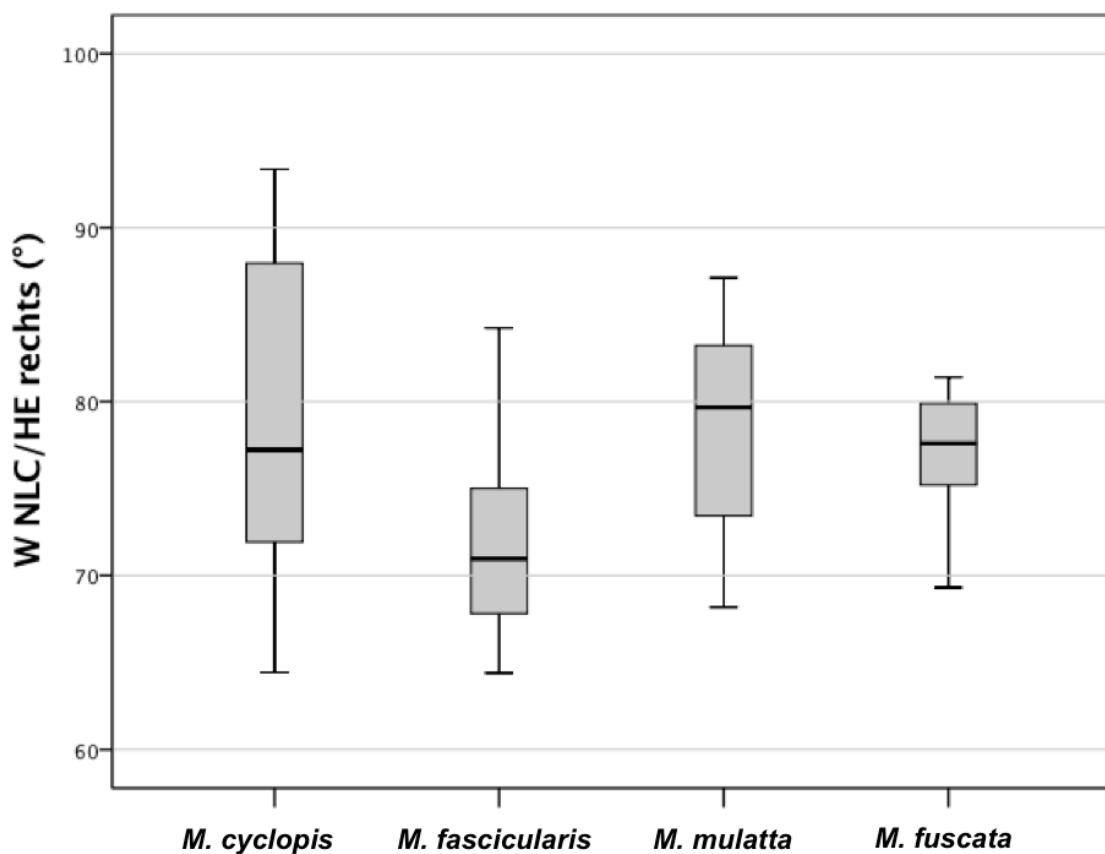


Abb. 39: Boxplots zur Darstellung der Unterschiede des Winkels zwischen der Achse des rechten Canalis nasolacimalis und der Horizontalebene der Faszikularis-Gruppe.

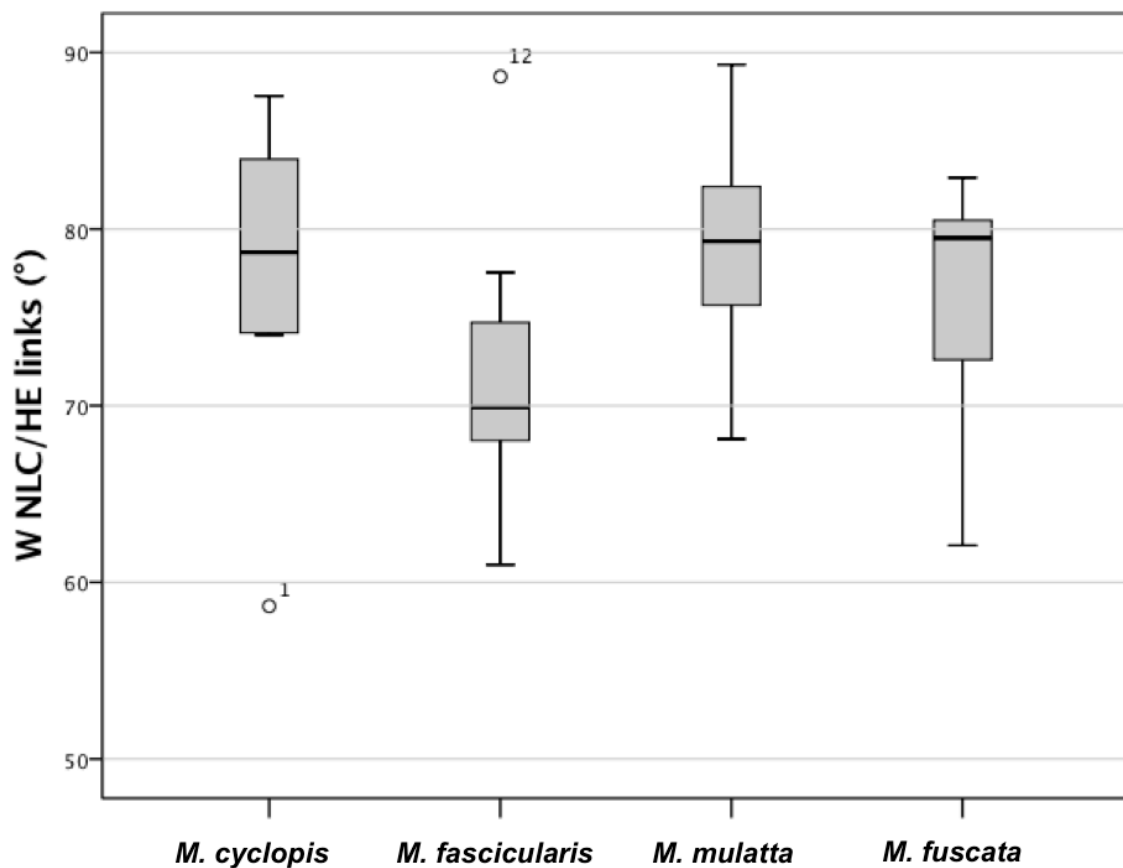


Abb. 40: Boxplots zur Darstellung der Unterschiede des Winkels zwischen der Achse des linken Canalis nasolacimalis und der Horizontalebene der Faszikularis-Gruppe. Die Kreise stellen Ausreißer dar.

Tabelle 27 und die Abbildungen 39 und 40 verdeutlichen einen Unterschied bezüglich der Achse des Canalis nasolacimalis und der Horizontalebene zwischen den einzelnen Spezies des Faszikularis-Gruppe. Um zu prüfen, wo diese Unterschiede liegen, wurden ein LSD-Post-Hoc Test und ein Bonferroni-Test durchgeführt (Tab. 28). Nach beiden Testmethoden bestand kein statistisch signifikanter Unterschied in Bezug auf die Mittelwerte der Winkel zwischen der Achse des Canalis nasolacimalis und der Horizontalebene der verschiedenen Spezies der Faszikularis-Gruppe.

Tab. 28: LSD-Test und Bonferroni Post-Hoc Test für die Mittelwerte des Winkels zwischen den Achsen des rechten und linken Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene der verschiedenen Spezies der Faszikularis-Gruppe.

W NLC/HE R	Spezies		
	<i>M.fascicularis</i>	<i>M. mulatta</i>	<i>M.fuscata</i>
<i>M. cyclopis</i>	0,069	0,875	0,583
<i>M. fascicularis</i>		0,078	0,171
<i>M. mulatta</i>			0,676
W NLC/HE L			
<i>M. cyclopis</i>	0,189	0,585	0,768
<i>M. fascicularis</i>		0,060	0,279
<i>M. mulatta</i>			0,384

W NLC/HE R: Winkel zwischen der Achse des rechten Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene. W NLC/HE L: Winkel zwischen der Achse des linken Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene.

5. Diskussion

5.1 Morphologie und Wachstum des Canalis nasolacrimalis

Obwohl Japanische Makaken bereits mehrfach als Objekt für Wachstumsstudien herangezogen wurden (Hamada 1993, Mouri 1994, Koppe and Nagai 1997, Hamada et al. 2004), liegen bis heute keine Untersuchungen zur Morphologie und zum Wachstum des Canalis nasolacrimalis dieser Spezies vor. Anhand von computertomographischen Schichtbildern aus einer früheren Studie (Koppe and Nagai 1997) war es uns möglich, eine Charakterisierung des Canalis nasolacrimalis vorzunehmen. Es handelt sich hierbei um eine Querschnittsstudie, die einen Überblick über morphologische Unterschiede innerhalb einer Spezies ermöglicht. Vorausgegangene Untersuchungen, die sich mit dem Wachstum verschiedener Strukturen des Schädels dieser Spezies beschäftigen, beruhen ebenfalls auf Querschnittsstudien (Mouri 1996, Koppe and Nagai 1997, Hamada et al. 2004). Für die Untersuchung wurden 29 Schädel von *Macaca fuscata* anhand der Dentition in vier postnatale Altersgruppen eingeteilt, da das Lebensalter der Tiere zum Todeszeitpunkt nicht exakt bekannt war.

Morphologie des Canalis nasolacrimalis

Die in dieser Studie ermittelten Volumen-, Längen- und Winkelangaben ermöglichen eine Vorstellung über die Morphologie des Canalis nasolacrimalis sowie dessen Achsenneigung. Unsere Untersuchungen deuten darauf hin, dass männliche und weibliche Makaken eine ähnliche Morphologie des Canalis nasolacrimalis aufweisen. Vom orbitalen Eingang ausgehend, erstreckte sich der Kanal in seinem Verlauf nach kaudal und lateral. Dabei lag der orbitale Eingang weiter medial als die Mündungsstelle in der Nasenhöhle. Tiere der Altersgruppe 1 von *Macaca fuscata* wiesen einen vergleichsweise kurzen und schmalen Canalis nasolacrimalis auf, der anterior des Sinus maxillaris gelegen ist. Erst ab der Altersgruppe 2 erschien der Sinus maxillaris gleichzeitig auf einem Schichtbild mit dem Canalis nasolacrimalis.

Volumen des Canalis nasolacrimalis

Mit zunehmendem Alter Japanischer Makaken konnte erwartungsgemäß ein steigendes Volumen des Canalis nasolacrimalis nachgewiesen werden. Männliche Individuen wiesen in den Altersgruppen 1 und 4 ein größeres Volumen des Canalis nasolacrimalis auf als ihre

weiblichen Artgenossen. Damit ähnelte die von uns für *Macaca fuscata* beschriebene Morphologie des Tränennasengangs der Situation beim Menschen. So untersuchten Ramey et al. (2013) 72 Menschen anhand von computertomographischen Schichtbildern und fanden bei männlichen Patienten ein größeres Volumen des Canalis nasolacrimalis als bei weiblichen Patienten. Auch Estes et al. (2015) kamen zu ähnlichen Resultaten, wobei in dieser Studie allerdings das Volumen des Ductus nasolacrimalis vermessen wurde. Vergleichbare Studien zum Volumen des Canalis nasolacrimalis bei *Macaca fuscata* existieren noch nicht. Jedoch wurden bei *Macaca fuscata* das Volumen des Sinus maxillaris (Koppe and Nagai 1997), das Gaumenvolumen (Geißler 2007) und das Nasenhöhlenvolumen (Balczun 2008) anhand männlicher und weiblicher Tiere analysiert. In diesen drei Untersuchungen wiesen männliche Makaken größere Volumina der oben genannten Werte auf, verglichen mit den weiblichen Tieren. Auf den Geschlechtsdimorphismus von Makaken wird in einem späteren Abschnitt eingegangen.

Länge des Cananlis nasolacrimalis

Mit zunehmendem Alter der Japanischen Makaken konnte eine Längenzunahme des Canalis nasolacrimalis nachgewiesen werden (Abb. 20, 21). Im Hinblick auf verschiedene Untersuchungen an nichtmenschlichen Primaten die zeigten, dass männliche Tiere grundsätzlich größere kraniale Messwerte aufweisen als weibliche Tiere der gleichen Altersgruppe (Cochard 1985, Ravosa 1991, Mouri 1994), ist die Beobachtung dieser Studie bemerkenswert, dass weibliche Makaken über alle Altersgruppen hinweg einen längeren rechten Canalis nasolacrimalis aufweisen als männliche Tiere. Der linke Canalis nasolacrimalis der weiblichen Makaken ist in den Altersgruppen 1-3 ebenfalls länger als bei männlichen Tieren. Eine Ausnahme bildete der linke Canalis nasolacrimalis der Altersgruppe 4. Hier überstieg die Länge des Canalis nasolacrimalis der männlichen Tiere die der weiblichen Tiere. Dieser Unterschied war jedoch nicht statistisch signifikant.

Der Geschlechtsdimorphismus ist bei Makaken unterschiedlich stark ausgeprägt (Mouri 1995, 1996). Mouri (1995) untersuchte 11 Makakenspezies, darunter auch Makaken der Faszikularis-Gruppe, und beobachtete bei *Macaca fuscata* einen weniger ausgeprägten Geschlechtsdimorphismus verglichen mit *Macaca fascicularis* und *Macaca mulatta*. Dieses Ergebnis wurde in einer späteren Untersuchung erneut bestätigt (Mouri 1996, Hamada et al. 2004). Mouri (1994) beschäftigte sich in einer weiteren Arbeit mit dem Geschlechtsdimorphismus von *Macaca fuscata*. Er untersuchte 139 Schädel, die anhand

der Dentition in 9 postnatale Altersgruppen eingeteilt wurden. Seine Untersuchung zeigte, dass die Anzahl der signifikanten Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Makaken in den Altersgruppen 4 und 5 am höchsten ist. Inwiefern der von uns beobachtete Geschlechtsdimorphismus des Canalis nasolacrimalis zugunsten der weiblichen Tiere mit dem vergleichsweise gering ausgeprägtem Geschlechtsdimorphismus dieser Makakenspezies in Zusammenhang steht, lässt sich nur durch zukünftige Studien unter Berücksichtigung weiterer Altersstufen genauer beantworten. Vorausgegangene Beobachtungen an nichtmenschlichen Primaten verdeutlichten, dass männliche Tiere größere kraniale Messwerte aufweisen als weibliche Tiere der gleichen Altersgruppe (Cochard 1985, Ravosa 1991, Mouri 1994). Die relativ kleine Stichprobenzahl der vorliegenden Studie kann ebenfalls eine mögliche Erklärung für unser Ergebnis sein, obwohl Röhrer-Ertl (2006) anhand statistischer Schädeluntersuchungen an Cercopithiden zeigen konnte, dass bereits eine relativ geringe Stichprobengröße mit einer Anzahl weniger als 10 sinnvolle Ergebnisse liefern kann.

Achsenlage des Canalis nasolacrimalis

Neben der Kenntnis über die Größe des Canalis nasolacrimalis sind insbesondere auch Kenntnisse über die Lage des Tränennasenkanals von Interesse. Dafür eignet sich der Winkel zwischen der Achse des Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene. Unsere Untersuchungen verdeutlichen, dass dieser Winkel mit zunehmendem Alter kleiner wird. Somit verläuft der Tränennasenkanal bei juvenilen Makaken steiler als bei adulten Makaken. Demzufolge liegt die Mündung des Canalis nasolacrimalis im unteren Nasengang bei adulten Makaken relativ weit vorne.

Ausgehend vom kranialen Eingang ist die Achse schräg nach vorne geneigt. Das entspricht auch grundsätzlich der Situation beim Orang-Utan. So berichten de los Rios et al. (2012), dass bei *Pongo* ausgehend vom Niveau des orbitalen Eingangs eine schräg nach vorne gerichtete Achsenneigung zu beobachten ist. Im Gegensatz dazu ist die Achsenneigung beim Menschen schräg nach hinten gerichtet (Lang 1979, Janssen et al. 2001, Raikos et al. 2015). Darüberhinaus existieren weitere Unterschiede in der Morphologie des Tränennasengangs beim Menschen, die abhängig von dem Geschlecht und der ethnischen Herkunft sind (Janssen et al. 2001, Carter and Gausas 2006). Während bei Kindern der Gesichtsschädel relativ kurz und der Gehirnschädel groß ist, verschiebt sich bei Erwachsenen dieses Verhältnis bekanntlich zugunsten des Gesichtsschädels (Verwoerd

and Verwoerd-Verhoef 2010), der Tränennasengang elongiert. Den Untersuchungen von Rehorek et al. (2015) zufolge beeinflusst insbesondere das Nasenhöhlenwachstum die Ausformung des Tränennasenganges aufgrund der direktern Nachbarschaft. Um die Lageveränderung der Achse des Canalis nasolacimalis innerhalb des Wachstums beurteilen zu können, sollten weitere Studien unter Berücksichtigung der ethnischen Gruppen vorgenommen werden.

Geschlechtsspezifische Wachstumsunterschiede

Unsere Untersuchungen zeigten die größte Volumenzunahme des Canalis nasolacimalis bei männlichen Tieren zwischen der Altersgruppe 3 und 4 und bei weiblichen Tieren zwischen der Altersgruppe 1 und 2. Die größte Längenzunahme war bei männlichen Tieren zwischen der Altersgruppe 3 und 4, bei weiblichen Tieren zwischen der Altersgruppe 2 und 3 zu beobachten. Da es sich bei unserer Untersuchung um eine Querschnittsstudie handelt, können wir keine Aussagen über Wachstumsspurts treffen. Jedoch existieren Untersuchungen anderer Autoren über das Wachstumsverhalten von Makaken. Koppe et al. (1999) untersuchten in einer Longitudinalstudie das Wachstum des Sinus maxillaris männlicher und weiblicher Südlicher Schweinsaffen (*Macaca nemestria*). Während das Wachstum des Sinus maxillaris bei weiblichen Tieren ab dem 3. bis 4. Lebensjahr ein Plateau zeigte, vergrößerte sich der Sinus maxillaris bei männlichen Tieren weiter. Jedoch wiesen die Autoren darauf hin, dass der Wachstumsspurts bei weiblichen Tieren eher einsetzt als bei männlichen Tieren. In einem Alter von 6,3 Jahren ist für den Sinus maxillaris ein Geschlechtsdimorphismus zu beobachten. Zudem zeigte diese Untersuchung, dass das Wachstum des Sinus maxillaris eng mit dem Körperwachstum verknüpft ist.

Hamada (1993) analysierte mithilfe von Geschwindigkeits- und Wachstumskurven das Wachstumsverhalten unterschiedlicher Körpermaße von *Macaca fuscata*. Hierbei konnte bei weiblichen Tieren ein eher einsetzender pubertärer Wachstumsschub beobachtet werden. Weibliche Makaken erreichen in einem Alter von 3,55 Jahren die Spitze der Geschwindigkeit der Wachstumskurve für das Körpergewicht und in einem Alter von 3,28 Jahren die Spitze der Geschwindigkeit der Wachstumskurve für die Rumpflänge. Bei männlichen Tieren wird das maximale Körpergewicht mit 4,47 Jahren und die definitive Rumpflänge mit 4,80 Jahren erreicht. Zwar setzt bei männlichen Tieren der pubertäre Wachstumsschub später ein, die Geschwindigkeit des Wachstums ist jedoch höher und der

Schub dauert länger an. Ab einem Alter von 5 Jahren ähneln sich die Kurven von männlichen und weiblichen Tieren.

Ravosa (1991) kam in seiner Studie zu einem ähnlichen Ergebnis. Er untersuchte den Geschlechtsdimorphismus und das Wachstumsverhalten von *Macaca fascicularis* und *Nasalis larvatus* anhand von Schädeln, die in 5 postnatale Altersgruppen eingeteilt wurden. Auch diese Analyse bestätigte einen eher einsetzenden Wachstumsspur für weibliche Tiere verglichen mit männlichen Tieren.

Wie in den vorausgegangenen Abschnitten bereits erwähnt, konnten wir keinen statistisch signifikanten Geschlechtsdimorphismus für das Wachstumsmuster des Canalis nasolacimalis von *Macaca fuscata* nachweisen. Dieses Ergebnis war zu erwarten, da auch für andere Körper- und Schädelmaße dieser Spezies keine unterschiedlichen Wachstumsmuster bei männlichen und weiblichen Tieren beobachtet wurden (Hamada 1993, Koppe et al. 1996). In der Arbeit von Geißler (2007) zum Wachstum des harten Gaumens von *Macaca fuscata*, wurden die gleichen Individuen untersucht wie in unserer Studie. Es konnte ebenfalls kein statistisch signifikanter Geschlechtsdimorphismus nachgewiesen werden. Reckzeh (2011) analysierte in seiner Untersuchung die geschlechtsspezifischen Wachstumsentwicklungen der Faszikularis-Gruppe. *Macaca fascicularis* und *Macaca mulatta* zeigten den deutlichsten Geschlechtsdimorphismus mit acht von 17 signifikant verschiedenen Merkmalen. *Macaca fuscata* hingegen zeigte nur drei signifikant verschiedene Merkmale (Maxilloalveolarbreite, Postorbitale Breite, Gaumenbreite). In der Arbeit von Balczun (2008) wurden ebenfalls die gleichen Individuen untersucht wie in unserer Studie. Jedoch konnte bei dieser Analyse der Nasenhöhle von *Macaca fuscata* ein statistisch signifikanter Geschlechtsdimorphismus nachgewiesen werden.

Um geschlechtsspezifische Unterschiede des Canalis nasolacimalis bei Makaken näher zu beleuchten, sind weitere Untersuchungen notwendig. Verwandte Spezies mit ausgeprägtem Geschlechtsdimorphismus wie *Macaca mulatta* und *Macaca fascicularis* (Mouri 1996), oder auch *Macaca nemestria* (Koppe et al. 1999) könnten aufschlussreiche Ergebnisse liefern.

Canalis nasolacimalis und Schädelmorphologie

Um den Canalis nasolacimalis im Zusammenhang mit der Schädelmorphologie betrachten zu können, wurden die erhobenen Messwerte in Relation zu weiteren Schädelmaßen gesetzt. Da genaue Altersangaben der Tiere nicht bekannt waren, war es notwendig eine Bezugsgröße zu verwenden. Bestimmte Schädelmaße, wie die Schädelbasislänge und Gesamtschädellänge, eignen sich besonders gut, um das Wachstum des Schädels zu verdeutlichen. So verwendeten Koppe and Nagai (1997) bei der Wachstumsuntersuchung des Sinus maxillaris von *Macaca fuscata* die Gesamtschädellänge als Bezugsgröße. In unserer Wachstumsanalyse wurden die Gesamtschädellänge und Gesichtsschädelhöhe als Bezugsgrößen gewählt, da diese Schädelmaße die höchste Korrelation mit den von uns erhobenen Messwerten für den Canalis nasolacimalis zeigen. Durch die hohe Korrelation dieser Schädelmaße mit den Messwerten des Canalis nasolacimalis ließ sich der Einfluss des Gesichtswachstums auf das Wachstum des Canalis nasolacimalis bei *Macaca fuscata* ableiten. Die Faktorenanalyse zeigte (Tab. 9-7 im Anhang), dass ein bestimmter Faktor, der als genetischer Faktor interpretiert werden kann, zur Erklärung der Korrelation zwischen den Schädelmaßen ausreicht. Die schwächste Korrelation stellten wir beim Volumen des Sinus maxillaris fest. Sowohl Koppe et al. (1996) als auch Koppe and Nagai (1997) konnten nur einen schwachen Zusammenhang zwischen der Morphologie des Sinus maxillaris und anderen Schädelstrukturen bei dieser Spezies beobachten. Koppe and Nagai (1997; 1999) wiesen darauf hin, dass die Morphologie der Kieferhöhle nicht nur das Ergebnis der Adaptation an mechanische Krafteinflüsse ist, sondern auch durch weitere Umweltfaktoren beeinflusst werden. So zeigen Makaken aus kälteren Regionen ein größeres Volumen der Nasenhöhle und ein kleineres Volumen des Sinus maxillaris als Tiere aus wärmeren Regionen (Rae et al. 2003, Ito et al. 2015). Auf das Klima als Einflussfaktor wird im folgenden Abschnitt näher eingegangen.

5.2 Vergleich des Canalis nasolacimalis lokaler Populationen von *Macaca fuscata*

Um zu prüfen, ob das Klima einen Einfluss auf die Morphologie des Tränennasengangs ausübt, haben wir die Maße des Canalis nasolacimalis von Individuen verschiedener lokaler Populationen von *Macaca fuscata* aus unterschiedlichen geographischen Regionen Japans verglichen. Die Ergebnisse waren jedoch nicht einheitlich. Während das Volumen des Canalis nasolacimalis keinen signifikanten Zusammenhang zur mittleren Januartemperatur aufwies, konnten wir sowohl bezüglich der Länge als auch der

Achsenneigung des Tränennasenkanals signifikante Unterschiede nachweisen. Solche signifikanten Zusammenhänge zeigten sich jedoch nur zwischen klimatisch und geographisch weit voneinander entfernten Populationen Japanischer Makaken (Tab. 18, 20). Für die Volumenvermessung des rechten und linken Canalis nasolacimalis ergaben sich keine signifikanten Unterschiede. Das kleinste Volumen des Canalis nasolacimalis beobachteten wir bei *Macaca fuscata* aus der Region um Shimokita (durchschnittliche Januartemperatur: $-1,8^{\circ}\text{C}$). Bei Tieren aus der Region um Kinkazan (durchschnittliche Januartemperatur: $1,0^{\circ}\text{C}$) stellten wir das größte Volumen des Canalis nasolacimalis fest, gefolgt von Tieren aus der Region um Yakushima (durchschnittliche Januartemperatur: $10,7^{\circ}\text{C}$). Jedoch konnten wir bei der Längenmessung des rechten und linken Canalis nasolacimalis signifikante Unterschiede zwischen den Tieren folgender Populationen feststellen: (1) Kinkazan und Shimokita, (2) Kinkazan und Shodoshima, (3) Kinkazan und Yakushima, (4) Koshima und Shodoshima sowie (5) Koshima und Yakushima. Den längsten Canalis nasolacimalis beobachteten wir bei Tieren aus der Region um Kinkazan (durchschnittliche Januartemperatur: $1,0^{\circ}\text{C}$), den kürzesten bei Tieren aus der Region um Shodoshima (durchschnittliche Januartemperatur: $4,6^{\circ}\text{C}$). Bei den Vermessungen des Winkels zwischen der Achse des rechten und linken Canalis nasolacimalis und der Horizontalebene beobachteten wir signifikante Unterschiede zwischen den Tieren folgender Populationen: (1) Kinkazan und Yakushima und (2) Koshima und Yakushima. Die größten Werte bei den Winkelvermessungen konnten bei Tieren aus der Region um Kinkazan beobachtet werden und bei Tieren aus der Region um Yakushima die kleinsten.

Da unseres Wissens nach keine vergleichbaren Studien über den Tränennasenkanal anderer nichtmenschlicher Primaten existieren, können hier nur Vergleiche zu Studien am Menschen herangezogen werden. So konnten Santos-Fernandez (1921) und Post (1969), die den Canalis nasolacimalis beim Menschen untersuchten, ebenfalls Differenzen zwischen verschiedenen ethnischen Gruppen feststellten. Beide Autoren verglichen den Durchmesser und die Länge des Canalis nasolacimalis bei Afroamerikanern und Kaukasiern ausgewählter Populationen. Sowohl Santos-Fernandez (1921) als auch Post (1969) zeigten bei den afroamerikanischen Populationen einen kürzeren Tränennasenkanal mit größerem Durchmesser, verglichen mit den Kaukasieren. Post (1969) vermutet klimatische Einflüsse (Luftfeuchtigkeit, Temperatur) sowie einen gesteigerten Tränenfluss bei Afroamerikanern als mögliche Ursachen für dieses Ergebnis. Unterschiede bezüglich des Durchmessers des Canalis nasolacimalis zwischen verschiedenen Populationen

werden auch in der Studie von Fasina and Ogbole (2013) für den Menschen bestätigt. So berichten Fasina and Ogbole (2013) über einen schmalere Durchmesser des Canalis nasolacimalis bei einer aus Nigeria stammenden Population im Vergleich zu einer asiatischen und einer europäischen Population. Jedoch bestehen bei verschiedenen Populationen nicht zwangsläufig Unterschiede in der Morphologie des Canalis nasolacimalis. So zeigen die Ergebnisse von McCornick and Sloan (2009), die den Canalis nasolacimalis beim Menschen anhand von computertomographischen Schichtbildern untersuchten, dass nur teilweise signifikante Unterschiede zwischen ausgewählten Populationen festzustellen sind. In keiner der genannten Untersuchungen wurden bisher klimatische Faktoren berücksichtigt.

Menéndez (2017) untersuchte anhand von 361 menschlichen, aus Südamerika stammenden Schädeln den klimatischen und geographischen Einfluss auf die Schädelmorphologie. Die Schädel wurden nach der Herkunftsregion eingeteilt und auf Zusammenhänge mit den Einflussfaktoren Ernährung, Höhenlage, durchschnittliche jährliche Niederschlagsrate, durchschnittliche Jahrestemperatur sowie niedrigste und höchste Jahrestemperatur untersucht. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass der Gesichtsschädel hauptsächlich durch die Ernährung und die Höhenlage beeinflusst wird und nur teilweise durch das Klima. Während die durchschnittliche Jahrestemperatur den größten Einfluss auf die Formgebung des Schädels ausübte, beeinflussten Faktoren wie die durchschnittliche jährliche Niederschlagsrate sowie die niedrigste und höchste Jahrestemperatur die Größe des Schädels. Der Tränennasengang wurde in dieser Untersuchung nicht speziell berücksichtigt.

Obgleich der Einfluss von Klimafaktoren auf die Morphologie des Tränennasenkanals beim Menschen bisher nicht untersucht wurde, weisen verschiedene Studien an Menschen und nichtmenschlichen Primaten darauf hin, dass der Einfluss des Klimas auch auf Nachbarstrukturen des Canalis nasolacimalis wie den Sinus maxillaris (Shea 1977, Koppe et al. 1999, Rae et al. 2003, Ito et al. 2015) und die Cavitas nasi (Rae et al. 2003, Balczun 2008, Drefs 2012) nicht ausgeschlossen werden kann. In Anlehnung an die Arbeit von Rae et al. (2003) errechneten wir den Index des Canalis nasolacimalis und prüften den Einfluss von Temperatur und geographischer Lage anhand einer Korrelationsanalyse. Der Index des rechten Canalis nasolacimalis zeigte eine schwache Korrelation zwischen den Faktoren Temperatur und Breitengrad, die jedoch statistisch nicht signifikant war und nur einen

Trend vermuten ließ. Für den Index des linken Canalis nasolacimalis ergaben sich statistisch signifikante Korrelationen zwischen den oben genannten Einflussfaktoren. Dennoch war auch diese Korrelation nur schwach ausgeprägt. Die Tatsache, dass Mittelwerte innerhalb der Populationen für den Index des Canalis nasolacimalis verwendet wurden, kann eine mögliche Ursache für die Unterschiede zwischen der rechten und linken Seite darstellen.

Rae et al. (2003) untersuchten ebenfalls lokale Populationen von *Macaca fuscata* und zeigten, dass der Index des Sinus maxillaris und der Cavitas nasi mit klimatischen und geographischen Einflussfaktoren korreliert ist. Die Autoren vermuten, dass die relative Größe der Querschnittsfläche der Nasenhöhle in kälteren Gebieten signifikant größer ist als die der Makaken, die in klimatisch wärmeren Regionen beheimatet sind. Rae et al. (2003) wiesen darauf hin, dass das Abnehmen des Kieferhöhlenvolumens bei sinkender Temperatur bei *Macaca fuscata* eine passive Folge der Zunahme des Nasenhöhlenvolumens ist. Die Untersuchungen von Ito et al. (2015) scheinen dieses Ergebnis zu bestätigen. Ob die Abnahme des Volumens des Canalis nasolacimalis eine passive Folge der Ausdehnung der Nasenhöhle ist, sollte in weiteren Untersuchungen mit größerer Stichprobenzahl analysiert werden. Dieser Zusammenhang wäre denkbar, da der Canalis nasolacimalis in den unteren Nasengang mündet. Untersuchungen bei Eskimopopulationen zeigten, dass besonders der untere Nasengang in kälteren Gebieten stärker entwickelt ist als in wärmeren Regionen (Shea 1977). Insbesondere die Concha nasalis inferior, die sich in dieser Region befindet, konditioniert die Atemluft für die unteren Atemwege und dient der Thermoregulation (Keck et al. 2010). Auch tierexperimentelle Untersuchungen an Ratten zeigten, dass sich die Größe der Nasenhöhle bei sinkender Temperatur vergrößert (Rae et al. 2006). Jedoch wurden die Veränderungen des Canalis nasolacimalis der Ratten in diesem Versuch nicht berücksichtigt.

Obgleich die Ernährung als Einflussfaktor für die Morphologie des Tränennasengangs noch nicht untersucht wurde, existieren verschiedene Studien an Makaken, die diesen Faktor berücksichtigen. So verglich Antón (1996) *Macaca fuscata* mit *Macaca mulatta*, *Macaca fascicularis* und *Macaca nemestria* und hob hervor, dass morphologische Variationen des Gesichtsschädels zwischen *Macaca fuscata* und den anderen drei Spezies nicht nur auf klimatische oder geographische Einflüsse zurückzuführen sind, sondern mit der Konsistenz der Nahrung im Zusammenhang stehen kann. So unterscheiden sich die

Hauptnahrungsquellen von *Macaca fuscata* verschiedener lokaler Populationen in Konsistenz und Energiegehalt (Nakagawara 1997). In vergangenen Studien konnte gezeigt werden, dass unterschiedlich starke Kaubelastungen zu Strukturveränderungen des Schädels von Primaten führen (Hylander 1977, Corruccini RS, Beecher RM 1982, Preuschoft et al. 2002).

Der Bau des Gesichtsschädels entspricht bekanntlich einer Rahmenkonstruktion. Bereiche, die höherer Spannung ausgesetzt sind, werden durch Knochenapposition verstärkt, während in Bereichen verminderter Spannung eine Resorption erfolgt. Dadurch entstehen Pfeiler, die den Kaudruck auf die Schädelkapsel übertragen (Schumacher 1991). Da der Canalis nasolacrimalis in enger topographischer Beziehung zum Stirnnasenpfeiler steht, ist anzunehmen, dass sich dessen Morphologie ebenfalls durch unterschiedliche Kaubelastungen verändern kann. Der Stirnnasenpfeiler leitet den Kaudruck über die Schneidezähne und den Eckzahn weiter und zieht zwischen der Kiefer- und Nasenhöhle durch den Processus frontalis des Oberkiefers zum Stirnbein (Schumacher 1991). Inwiefern die Morphologie des Canalis nasolacrimalis vom Kaudruck beeinflusst wird, wurde bislang noch nicht untersucht.

Eine weitere mögliche Erklärung für die Unterschiede bietet der Gründereffekt (engl. Founder Effect), der eine genetische Abweichung einer isolierten Population von der Stammpopulation beschreibt. Die Tiere einiger lokaler Populationen, die für unsere Studie vermessen wurden, bewohnen kleine Inseln (Shodoshima und Yakushima) und sind somit isoliert von den Populationen der großen Inseln Japans. Vorhergegangene Untersuchungen bestätigten, dass die geographische Isolation einer Population Einfluss auf die Morphologie von Makaken ausüben kann (Fooden and Albrecht 1993, Kawamoto 2010).

5.3 Speziesunterschiede des Canalis nasolacrimalis innerhalb der Faszikularis-Gruppe

Obwohl sich die Morphologien des Tränennasenkanals der vier Spezies der Faszikularis-Gruppe nicht wesentlich voneinander unterscheiden, ergaben unsere Untersuchung statistisch signifikante Unterschiede in Volumen und Länge des Canalis nasolacrimalis. Während bei *Macaca fuscata* die größten Messwerte für das Volumen und die Länge des Canalis nasolacrimalis beobachtet wurden, wies *Macaca mulatta* die kleinsten Messwerte

auf. Für den Winkel zwischen der Achse des Canalis nasolacimalis und der Horizontalebene konnten wir keine statistisch signifikanten Unterschiede feststellen.

Mouri (1996) stellte in seinen Untersuchungen, in denen er das Schädelwachstum von *Macaca mulatta*, *Macaca fuscata* und *Macaca fascicularis* verglich, ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Speziesgruppen fest. *Macaca fascicularis* hebt sich unter anderem mit einer großen Gesichtslänge und Gesichtshöhe hervor. Dementsprechend ist anzunehmen, dass der Canalis nasolacimalis bei *Macaca fascicularis* am längsten ist. Unsere Beobachtungen zeigten bei *Macaca fuscata* den längsten Canalis nasolacimalis, gefolgt von *Macaca fascicularis*.

Chu et al. (2007) verglichen in ihrer Arbeit die mitochondriale DNA von *Macaca mulatta*, *Macaca cyclopis* und *Macaca fuscata*. Diese Autoren vermuten, dass sich *Macaca mulatta* genetisch stärker von *Macaca cyclopis* und *Macaca fuscata* unterscheidet, die genetisch näher aneinander liegen. Genetische Unterschiede sind eine mögliche Erklärung für die Abweichungen bei den Volumen- und Längenmessungen zwischen *Macaca mulatta* und *Macaca cyclopis* in unserer Untersuchung. Für die Längenmessungen der beiden Seiten sowie für das Volumen des linken Canalis nasolacimalis konnten wir ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen *Macaca mulatta* und *Macaca fuscata* beobachten. Roos and Zinner (2015) untersuchten lokale Populationen von *Macaca mulatta* und *Macaca fascicularis* und wiesen darauf hin, dass genetische Variationen innerhalb einer Spezies bestehen können und deshalb der Fokus auf die geographische Herkunft der Tiere und den damit zusammenhängenden Faktoren gerichtet werden sollte. Cobb and O'Higgins (2004) beschäftigten sich in ihrer Untersuchung mit speziesspezifischen Unterschieden und verglichen Schädel von großen Menschenaffen. Sie stellten fest, dass signifikanten Differenzen in der Gesichtsentwicklung erst postnatal auftreten, obwohl viele Unterschiede bereits pränatal festgelegt werden. Weitere Studien, die postnatal einwirkende Faktoren wie das Nahrungsangebot und klimatische Einflüsse miteinbeziehen, sind notwendig um die Morphologie des Canalis nasolacimalis der Faszikularis-Gruppe näher zu beleuchten.

6. Schlussfolgerungen

Unter Bezugnahme auf die in der Einleitung formulierten Ziele dieser Arbeit kamen wir zu folgenden Schlussfolgerungen:

1. Im Untersuchungszeitraum erfolgte eine kontinuierliche geschlechtsunabhängige Zunahme von Volumen und Länge des Canalis nasolacrimalis. Vom orbitalen Eingang aus erstreckte sich der Canalis nasolacrimalis in seinem Verlauf nach kaudal und lateral. Dabei befand sich der orbitale Eingang weiter medial als die Mündungsstelle in die Nasenhöhle. Infantile Tiere wiesen einen vergleichsweise kurzen und schmalen Tränennasenkanal auf, der anterior des Sinus maxillaris gelegen war und nahezu senkrecht zur Horizontalebene ausgerichtet war. Mit zunehmendem Alter elongierte der Tränennasenkanal und seine Achse verlagerte sich schräg nach vorne.

Das Volumen war bei männlichen Tieren der Altersgruppen 1 und 4 größer als das der Weiblichen. Die größte Volumenzunahme zeigte sich bei Männchen zwischen Altersgruppe 3 und 4, bei Weibchen zwischen der Altersgruppe 1 und 2. Die größte Volumendifferenz zwischen männlichen und weiblichen Tieren zeigte sich im adulten Stadium.

Die Länge des Canalis nasolacrimalis war bei weiblichen Tieren der Altersgruppen 1-3 größer als die der männlichen Tiere. Die größte Längenzunahme zeigte sich bei Männchen zwischen der Altersgruppe 3 und 4, bei Weibchen zwischen der Altersgruppe 1 und 2. Die größte Längendifferenz zwischen männlichen und weiblichen Tieren zeigte sich im infantilen Stadium. Bei ausgewachsenen Japanischen Makaken war diese Differenz mit einer Länge von 0,675 cm bei männlichen Tieren und 0,626 cm bei weiblichen Tieren annähernd ausgeglichen.

Der Winkel zwischen der Achse des Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene war bei weiblichen Tieren der Altersgruppen 2 bis 4 größer als der der Männlichen. Die größte Winkeldifferenz zwischen männlichen und weiblichen Tieren zeigte sich im adulten Stadium. Für ausgewachsene männliche Tiere betrug der Winkel durchschnittlich $75,35^\circ$ und für Weibchen $78,45^\circ$. Bei adulten Tieren war der Canalis nasolacrimalis schräg nach vorne ausgerichtet.

2. Japanische Makaken weisen geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich des Volumens, der Länge und der Achsenneigung des Canalis nasolacimalis auf. Jedoch sind diese Unterschiede nicht einheitlich und sie betreffen nicht alle Altersgruppen. In allen drei Messungen konnte, durch einen Vergleich der Anstiege der Regressionsgeraden männlicher und weiblicher Tiere, kein Geschlechtsdimorphismus für das Wachstum des Canalis nasolacimalis im Bezug zur Gesamtschädellänge beobachtet werden.

3. Für *Macaca fuscata* konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Wachstum des Canalis nasolacimalis und allen erhobenen Schädelmaßen nachgewiesen werden. Bei der Korrelationsanalyse wurden männliche und weibliche Tiere zusammengefasst. Das Volumen des Canalis nasolacimalis korrelierte am stärksten mit der Gesamtschädellänge. Die Werte für die Längen- und Winkelvermessung korrelierten am stärksten mit der Gesichtsschädelhöhe.

4. Die verschiedenen geographischen Populationen von *Macaca fuscata* unterschieden sich hinsichtlich des Canalis nasolacimalis. Für die Mittelwerte der Längen- und Winkelmaße des Canalis nasolacimalis zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede. Für die Längenmessung konnten zwischen den Tieren aus der Region um (1) Kinkazan und Shimokita, (2) Kinkazan und Shodoshima, (3) Kinkazan und Yakushima, (4) Koshima und Shodoshima sowie (5) Koshima und Yakushima statistisch signifikante Unterschiede festgestellt werden. Bei den Winkelvermessungen konnten bei Tieren aus der Region um Kinkazan die größten Werte beobachtet werden und bei Tieren aus der Region um Yakushima die kleinsten. Diese Unterschiede zwischen den Tieren aus der Region um (1) Kinkazan und Yakushima sowie (2) Koshima und Yakushima waren signifikant. Die Korrelationsanalyse ergab eine schwache Korrelation für den Index des linken Canalis nasolacimalis und den Einflussfaktoren Temperatur und Breitengrad. Für den Index des rechten Canalis nasolacimalis waren diese Korrelationen nicht signifikant. Die Untersuchungen im Populationsvergleich deuten darauf hin, dass die geographische Lage sowie das Klima als Einflussfaktoren auf die Morphologie des Canalis nasolacimalis nicht ausgeschlossen werden können.

5. Obgleich alle vier Spezies der Faszikularis-Gruppe eine ähnliche Morphologie des Canalis nasolacimalis aufwiesen, konnten statistisch signifikante Unterschiede bezüglich des Volumens und der Länge des Canalis nasolacimalis aufgezeigt werden. *Macaca*

fuscata wies mit einem durchschnittlichen Volumen von $0,064 \text{ cm}^3$ und einer durchschnittlichen Länge von $0,627 \text{ cm}$ den größten Canalis nasolacimalis im Speziesvergleich auf. Die kleinsten Messwerte für den Canalis nasolacimalis konnten mit einem durchschnittlichen Volumen von $0,043 \text{ cm}^3$ und einer durchschnittlichen Länge von $0,437 \text{ cm}$ bei *Macaca mulatta* erhoben werden. Die Messwerte für *Macaca cyclopis* und *Macaca fascicularis* lagen dazwischen. Für den Winkel zwischen der Achse des Canalis nasolacimalis und der Horizontalebene konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede innerhalb der Faszikularis-Gruppe gezeigt werden.

6. Die vorliegende Arbeit beschreibt erstmals die Morphologie des Canalis nasolacimalis der Faszikularis-Gruppe. Sie setzt sich mit dem postnatalen Wachstum des Tränennasengangs bei *Macaca fuscata* auseinander und liefert Volumina-, Längen- sowie Winkelangaben dieser Struktur, die einen Beitrag zur Erforschung nichtmenschlicher Primaten leisten und als Basis für weiterführende Studien dienen können.

7. Zusammenfassung

Die vorliegende Studie befasste sich mit der Morphologie des Canalis nasolacrimalis (CN) von Japanischen Makaken (*Macaca fuscata*) basierend auf der Untersuchung koronaler computertomographischer Schichtaufnahmen. Im ersten Teil der Studie wurde das geschlechtsspezifische Wachstum des CN anhand von 29 Schädeln in unterschiedlichen postnatalen Altersgruppen analysiert. Der zweite Teil befasste sich mit dem Einfluss geographischer und klimatischer Faktoren auf die Morphologie des Tränenkanals adulter Japanischer Makaken, die definierten lokalen Populationen entstammen. Im dritten Teil der Arbeit wurde schließlich die Morphologie des CN von *Macaca fuscata* mit der anderer Spezies der Faszikularis-Gruppe der Makaken (*Macaca cyclopis*, *Macaca fascicularis*, *Macaca mulatta*) verglichen.

Zur Darstellung der Morphologie des CN wurden anhand der koronalen CT-Schichtaufnahmen mit Hilfe der WinSurf Version 4.0® - Software 3D-Rekonstruktionen des CN angefertigt und die entsprechenden Volumina ermittelt. Darüber hinaus wurde die Länge des CN sowie der Winkel zwischen der Achse des CN und der Horizontalebene mit dem Programm OsiriX® Version 5.8.2 vermessen. Die ermittelten Maße des CN wurden mit externen linearen Schädelmaßen in Beziehung gesetzt, um den Einfluss der Schädelmorphologie auf den CN zu untersuchen.

Männliche und weibliche Japanische Makaken wiesen zahlreiche Übereinstimmungen in der Morphologie des CN auf. So erstreckte sich der CN vom orbitalen Eingang nach kaudal und lateral. Dabei befand sich der orbitale Eingang weiter medial als die Mündungsstelle in der Nasenhöhle. Erst ab der Altersgruppe 2 erschien der Sinus maxillaris gleichzeitig auf einem Schichtbild mit dem CN. Die Maße des CN vergrößerten sich mit zunehmendem Alter, wobei das Volumen des CN adulter männlicher Tiere größer war als das der weiblichen Tiere. Bis auf den linken CN adulter Tiere wiesen weibliche Individuen in allen anderen Altersgruppen einen längeren CN auf als männliche Individuen. Die größte Volumen- und Längenzunahme zeigten sich bei Männchen zwischen der Altersgruppe 3 und 4, bei Weibchen zwischen der Altersgruppe 1 und 2. Die Achse des CN war bei infantilen Tieren nahezu senkrecht zur Horizontalebene ausgerichtet und verlagerte sich mit zunehmenden Alter schräg nach vorne.

Für die Volumen-, Längen- und Winkelmessungen des CN konnten signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede beobachtet werden. Jedoch waren die Unterschiede nicht einheitlich und betrafen nicht alle Altersgruppen. Die vorliegende Studie zeigte für *Macaca fuscata* einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen dem Wachstum des CN und externen Schädelmaßen. Darüber hinaus zeigten die Vergleiche der Anstiege der Regressionsgeraden zwischen beiden Geschlechtern keine signifikanten Unterschiede. Somit ist anzunehmen, dass sich die Tränennasengänge beider Geschlechter mit einem ähnlichen Wachstumsmuster vergrößern.

Der Einfluss klimatischer und geographischer Faktoren auf den CN wurde an 37 Schädeln adulter Japanischer Makaken beiderlei Geschlechts von fünf definierten geographischen Regionen Japans untersucht. Dazu wurden die ermittelten Maße des CN in Relation zu Klimadaten gesetzt. Für das Volumen ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede im Populationsvergleich. Jedoch unterschieden sich die Messwerte der lokalen Gruppen hinsichtlich der Länge und der Achsenneigung des CN signifikant voneinander. Zudem konnten für den linken CN signifikante Beziehungen zur geographischen Lage und der kleinsten Januartemperatur herausgearbeitet werden. Da dieser Zusammenhang nur für eine Seite beobachtet werden konnte, besteht weiterer Untersuchungsbedarf.

Schließlich wurden die vier Spezies der Faszikularis-Gruppe bezüglich der Morphologie des CN anhand von 34 adulten Schädeln beiderlei Geschlechts untersucht. Statistisch signifikante Unterschiede ergaben sich für das Volumen und die Länge des CN. Während für den CN von *Macaca fuscata* bezüglich Volumen und Länge die größten Messwerte bestanden, zeigte *Macaca mulatta* die kleinsten Messwerte. Hinsichtlich der Ausrichtung des CN zur Horizontalebene bestanden keine Speziesunterschiede.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung beschreiben nicht nur den Tränennasengang innerhalb einer Wachstumsreihe von *Macaca fuscata*, sondern liefern erstmals Erkenntnisse über die Morphologie des CN bei verschiedenen geographischen Populationen der Rotgesichtsmakaken sowie der Faszikularis-Gruppe. Angesichts der bekannten Unterschiede zwischen Catarrhini und Platyrrhini bezüglich der Morphologie der Nasenhöhle sind weiterführende Untersuchungen notwendig um die Faktoren, welche die Morphologie des Tränennasengangs beeinflussen, weiter zu ergründen.

8. Literaturverzeichnis

Amin S, Emmerich KH, Meyer-Rüsenberg HW (2013) Modern, minimally invasive surgery of the lacrimal duct system. HNO 61: 1053-9.

Andrade MC, Ribeiro CT, Silva VF, Molinaro EM, Gonçalves MA, Marques MA, Cabello PH, Leite JP (2004) Biologic data of *Macaca mulatta*, *Macaca fascicularis*, and *Saimiri sciureus* used for research at the Fiocruz primate center. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, 99: 584-589.

Ankel-Simon F (2007) Primate anatomy: An introduction. Amsterdam, Elsevier Academic Press.

Antón SC (1996) Cranial adaptation to a high attrition diet in Japanese macaques. International Journal of Primatology 17: 401-427

Ayub M, Thale AB, Hedderich J, Tillmann BN, Paulsen FP (2003) The cavernous body of the human efferent tear ducts contributes to regulation of tear outflow. Investigative Ophthalmology & Visual Science 44: 4900-4907.

Balczun J (2008) Computertomographische Untersuchung zum postnatalen Wachstum der Nasenhöhle von *Macaca fuscata* - eine biometrische Studie. Med Diss, Greifswald.

Bartsch HJ (1984) Taschenbuch mathematischer Formeln. Frankfurt / Main, Verlag Harri Deutsch.

Becker BB (1992) Tricompartiment model of the lacrimal pump mechanism. Ophthalmology 99: 1139-1145.

Bolk L (1917) Die „Bulla maxillaris“ des *Gorilla*. Anatomischer Anzeiger 50: 277-282.

Carter SR, Gausas RE (2006) Gender and racial variations of the lacrimal system. In: Cohen AJ, Mercandetti M, Brazzo BG (Eds.) *The Lacrimal System*. New York, Springer, pp 20-24.

Cave AJE, Haines RW (1940) The paranasal sinuses of the anthropoid apes. *Journal of Anatomy* 74: 493-523.

Chu JH, Lin YS, Wu HY (2007) Evolution and dispersal of three closely related macaque species, *Macaca mulatta*, *M. cyclopis*, and *M. fuscata*, in the eastern Asia. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 43: 418-429.

Cobb SN, O'Higgins P (2004) Hominins do not share a common postnatal facial ontogenetic shape trajectory. *Journal of Experimental Zoology* 302B: 302- 321.

Cochard LR (1985) Ontogenetic allometry of the skull and dentition of the rhesus monkey (*Macaca mulatta*). In: Jungers WL (Ed.) *Size and Scaling in Primate Biology*. Advances in Primatology. Boston, Springer, pp 231-255.

Corruccini RS, Beecher RM (1982) Occlusal variation related to soft diet in a nonhuman primate. *Science* 218: 74-76.

de los Ríos MP, Moyà-Solà S, Alba, DM (2012) The nasal and paranasal architecture of the Middle Miocene ape *Pierolapithecus catalaunicus* (primates: Hominidae): Phylogenetic implications. *Journal of Human Evolution* 63: 497-506.

Delson E (1980) Fossil Macaques, Phyletic Relationships and a Scenario of Development. In: Lindburg DG (Ed.) *The Macaques: Studies in Ecology, Behavior and Evolution*. New York, Van Nostrand Reinhold, pp 10-30.

Dilly PN (1994) Structure and function of the tear film. In: Sullivan DA (Ed.) *Lacrimal Gland, Tear Film, and Dry Eye Syndromes*. New York, Springer US, pp 239-247.

Dittus WPJ (2004) Demography: a window to social evolution. In: Thierry B, Singh M, Kaumanns W (Eds.) *Macaque societies: A model for the study of social organization*. Cambridge, Cambridge University Press, pp 87–116.

Drefs M (2012) Biometrische Untersuchungen zum Einfluss klimatischer Faktoren auf die Morphologie der Cavitas nasi beim Menschen. Med Diss, Greifswald.

Duke-Elder WS (1946) *Text-Book of Ophthalmology*. Vol. 1, The Development, Form and Function of the Visual Apparatus, St. Louis, The CV Mosby Company.

Eisler P (1930) Die Anatomie des menschlichen Auges. In Schieck F, Brückner A (Hrsg.) *Kurzes Handbuch der Ophthalmologie*, Band 1: Anatomie. Entwicklung. Missbildungen. Vererbung. Berlin, Springer.

Enlow DH (1966) A comparative study of facial growth in *Homo* and *Macaca*. *American Journal of Physical Anthropology* 24: 293–308.

Enlow DH, Hans MG (1996) *Essentials of facial growth*. WB Saunders Company.

Estes JL, Tsiouris AJ, Christos PJ, Lelli GJ (2015) 3-D Volumetric Assessment of the Nasolacrimal Duct in Patients with Obstruction. *Ophthalmic Plastic and Reconstructive Surgery* 31: 211-214.

Frame NJ, Burkat CN (2009) Identifying an appropriate animal model for the nasolacrimal drainage system. *Ophthalmic Plastic & Reconstructive Surgery* 25: 354-358.

Fanghänel J, Schumacher GH (1986) Schädelwachstum und Statistik. In: Schumacher GH (Ed.) *Craniogenesis and Craniofacial Growth*. Nova Acta Leopoldina, Band 58, Nr. 262; Halle, pp. 585-595.

Fasina O, Ogbole GI (2013) CT assessment of the nasolacrimal canal in a black African Population. *Ophthalmic Plastic & Reconstructive Surgery* 29: 231-233.

Fooden J (1976) Provisional classification and key to the living species of macaques (Primates: *Macaca*). Folia Primatologica 25: 225-36.

Fooden J (1995) Systematic review of Southeast Asian longtail macaques, *Macaca fascicularis* (Raffles, 1821). Fieldiana Zoology 81:1-206.

Fooden J (2000) Systematic review of the rhesus macaque, *Macaca mulatta* (Zimmermann, 1780). Fieldiana Zoology 96: 1-180.

Fooden J, Aimi M (2005) Systematic review of Japanese macaques, *Macaca fuscata* (Gray, 1870). Fieldiana Zoology 104: 1-198.

Fooden J, Albrecht GH (1993) Latitudinal and insular variation of skull size in crab-eating macaques (Primates, Cercopithecidae: *Macaca fascicularis*). American Journal of Physical Anthropology 92: 521-538.

Geißler F (2007) Biometrische Untersuchungen zum Wachstum des harten Gaumens von *Macaca fuscata*. Med Diss, Greifswald.

Geissmann T (2003) Vergleichende Primatologie. Berlin, Springer.

German RZ (2004) The ontogeny of sexual dimorphism: the implications of longitudinal vs. cross-sectional data for studying heterochrony in mammals. In: Anapol F, German RZ, Jablonski NG (Eds.) Shaping Primate Evolution: Form, Function, and Behavior. Cambridge University Press, Cambridge, pp 11–23.

Grehn F (2008) Augenheilkunde. Berlin, Springer.

Groell R, Schaffler GJ, Uggowitzer M, Szolar DH, Muellner K (1997) CT-anatomy of the nasolacrimal sac and duct. Surgical and Radiologic Anatomy 19: 189-191.

Groessl SA, Sires BS, Lemke BN (1997) An anatomical basis for primary acquired nasolacrimal duct obstruction. Archives of Ophthalmology 115: 71-4

Groves C (2001) Primate taxonomy. Washington DC: Smithsonian Institution Scholarly Press.

Hafferl A (1957) Lehrbuch der topographischen Anatomie. Berlin, Springer.

Hall ER (1926) Changes during growth in the skull of the rodent *Otospermophilus grammurus beecheyi*. University of California publications in zoology 21: 355-404.

Hamada Y (1993) Standard growth patterns and variations in growth patterns of the Japanese monkeys (*Macaca fuscata*) based on an analysis by the spline function method. Anthropological Science 102: 57-76.

Hamada Y, Hayakawa S, Suzuki J, Ohkura S (1999) Adolescent growth and development in Japanese macaques (*Macaca fuscata*): punctuated adolescent growth spurt by season. Primates 40: 439-452.

Hamada Y, Udon T, Teramoto M, Hayasaka I (2004) Body, head, and facial growth: comparison between macaques (*Macaca fuscata*) and chimpanzee (*Pan troglodytes*) based on somatometry. Annals of Anatomy 186: 451-461.

Hartung J, Elpelt B, Klösener KH (1995) Statistik, 10. Auflage. München, De Gruyter Oldenbourg.

Haynes RJ, Tighe PJ, Dua HS (1999) Antimicrobial defensin peptides of the human ocular surface. British Journal of Ophthalmology 83: 737-741.

Hinrichsen KV (1993) Gesichtsentwicklung. In: Hinrichsen KV (Hrsg.) Humanembryologie. Berlin, Springer, pp 650-692.

Hillenius WJ, Rehorek SJ (2005) From the eye to the nose: ancient orbital to vomeronasal communication in tetrapods? In: Mason RT, LeMaster MP, Müller-Schwarze D (Eds.) Chemical Signals in Vertebrates. New York, Springer, pp 228-241.

Hofer HO (1980) The external anatomy of the oro-nasal region of primates. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie* 73: 233-249.

Hoelzer GA, Melnick DJ (1996) Evolutionary relationship of the macaques. In: Lindburg DG and Fa JE (Eds.), *Evolution and Ecology of Macaque Societies*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 3-19.

Hosemann W, Fanghänel J (2005) *Präparierkurs zur endoskopischen endonasalen Nasennebenhöhlenchirurgie*. Endo-Press, Tuttlingen.

Hylander WL (1977) The adaptive significance of Eskimo craniofacial morphology. In: Dahlberg AA and Graber TM (Eds.) *Orofacial growth and development*. Mouton, Paris, pp. 129- 170.

Ito T, Nishimura TD, Hamada Y, Takai M (2015) Contribution of the maxillary sinus to the modularity and variability of nasal cavity shape in Japanese macaques. *Primates* 56: 11-19.

Iwamoto M, Hamada Y, Watanabe T (1984) Eruption of the deciduous teeth in Japanese monkeys (*Macaca fuscata*). *Journal of the Anthropological Society of Nippon* 92: 273-279.

Iwamoto M, Watanabe T, Hamada Y (1987) Eruption of the permanent teeth in Japanese monkeys (*Macaca fuscata*). *Primate Research* 3: 18-28.

Janssen AG, Mansour K, Bos JJ, Castelijns JA (2001) Diameter of the bony lacrimal canal: normal values and values related to nasolacrimal duct obstruction: assessment with CT. *American Journal of Neuroradiology* 22: 845-850.

Jones LT (1958) The lacrimal apparatus: practical fundamentals of anatomy and physiology. *Transactions of the American Academy of Ophthalmology and Otolaryngology* 62: 669–678.

Jones S, Martin R, Pilbeam D (1993) The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution. University of Cambridge Press, Cambridge.

Kawamoto Y (2010) Modes of differentiation in Japanese macaques: perspectives from population genetics. In: Nakagawa N, Nakamichi M, Sugiura H (Eds.) The Japanese macaque. New York, Springer, pp 53–76.

Keck T, Rozsasi A, Gruen P (2010) Konditionierung der Atemluft in der Nase. HNO 59: 38-44.

Kiliaridis S, Meijersjö C, Thilander B (1989) Muscle function and craniofacial morphology: a clinical study in patients with myotonic dystrophy. The European Journal of Orthodontics 11: 131-138.

Kim YS, Moon SC, Yoo KW (2000) Congenital nasolacrimal duct obstruction: Irrigation or probing? Korean Journal of Ophtalmology 14: 90-96.

Kirk EC, Daghighi P, Macrini TE, Bhullar BAS, Rowe TB (2014) Cranial anatomy of the Duchesnean primate *Rooneyia viejaensis*: new insights from high resolution computed tomography. Journal of Human Evolution 74: 82-95.

Klauß V (2002) Tränenorgane. In: Sachsenweger M (Hrsg.) Duale Reihe Augenheilkunde. Stuttgart, Thieme, pp 38-48.

Knop N, Knop E (2000) Conjunctiva-associated lymphoid tissue in the human eye. Investigative Ophthalmology & Visual Science 41: 1270-1279.

Koch KR, Kühner H, Cursiefen C, Heindl LM (2015) Stellenwert der transkanalikulären Laser-Dakryozystorhinostomie in der modernen Tränenwegschirurgie. Der Ophthalmologe 112: 122-126.

Kolmer W, Lauber H (1936) Die Tränenorgane. In: Kolmer W, Lauber H (Hrsg.) Haut- und Sinnesorgane. Berlin, Springer, pp 582-601.

Koppe T, Inoue Y, Hiraki Y, Nagai H (1996) The pneumatization of the facial skeleton in the Japanese macaque (*Macaca fuscata*) - A study based on computerized three-dimensional reconstructions. *Anthropological Science* 104: 31-41.

Koppe T, Nagai H (1997) Growth patterns of the maxillary sinus in the Japanese macaque (*Macaca fuscata*): Reflections on the structural role of the paranasal sinuses. *Journal of Anatomy* 190: 533-544.

Koppe T, Nagai H (1999) Factors in the development of the paranasal sinuses. In: Koppe T, Nagai H and Alt KW (eds.), *The Paranasal Sinuses of Higher Primates: Development, Function and Evolution*; Chicago: Quintessence, pp. 133-149.

Koppe T, Swindler D, Lee S (1999) A longitudinal study of the growth pattern of the maxillary sinus in the pig-tailed macaque (*Macaca nemestrina*). *Folia Primatologica* 70: 301-312.

Korkmaz H, Korkmaz M, Karakahya RH, Serhatlı M (2013) Endoscopic intranasal surgery for congenital nasolacrimal duct obstruction. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology* 77: 918-921.

Lang J (1979) *Praktische Anatomie. Kopf: Gehirn-und Augenschädel: Ein Lehr-und Hilfsbuch der anatomischen Grundlagen ärztlichen Handelns Teil B*. Berlin, Springer.

Lee-Wing MW, Ashenurst ME (2001) Clinicopathologic analysis of 166 patients with primary acquired nasolacrimal duct obstruction. *Ophthalmology* 108: 2038-2040.

Li C, Zhao C, Fan PF (2015) White-cheeked macaque (*Macaca leucogenys*): A new macaque species from Medog, southeastern Tibet. *American Journal of Primatology* 77: 753-766.

Lieberman DE, Ross CF, Ravosa MJ (2000) The primate cranial base: ontogeny, function, and integration. *American Journal of Physical Anthropology* 31: 117-169.

Lieberman DE, Krovitz GE, Yates FW, Devlin M, St Claire M (2004) Effects of food processing on masticatory strain and craniofacial growth in a retrognathic face. *Journal of Human Evolution* 46: 655-677.

Lieberman DE (2011) Epigenetic integration, complexity, and evolvability of the head: Rethinking the functional matrix hypothesis. *Epigenetics: Linking Genotype and Phenotype in Development and Evolution*. Edited by: Hallgrimsson B, Hall BK. Berkeley: University of California Press, 16: 271-289.

Martin R (1928) *Lehrbuch der Anthropologie, Band 2., 2. Auflage*. Jena, Gustav Fischer Verlag.

McCormick A, Sloan B (2009) The diameter of the nasolacrimal canal measured by computed tomography: gender and racial differences. *Clinical & Experimental Ophthalmology* 37: 357-361.

Menéndez, LP (2017) Moderate climate signature in cranial anatomy of late holocene human populations from Southern South America. *American journal of physical anthropology*.

Meyer-Rüsenberg HW, Emmerich KH (2010) Modern lacrimal duct surgery from the ophthalmological perspective. *Deutsches Ärzteblatt International* 107: 254-258.

Moore WJ (1981) *The mammalian skull*. Cambridge, Cambridge University Press.

Moore KL, Persaud TV, Lütjen-Drecoll E (1996) *Embryologie: Lehrbuch und Atlas der Entwicklungsgeschichte des Menschen*. Stuttgart, Schattauer-Verlag.

Moss ML, Greenberg SN (1967) Functional cranial analysis of the human maxillary bone: I, Basal bone. *Angle Orthodontist* 37: 151-164.

Mouri T (1994) Postnatal growth and sexual dimorphism in the skull of the Japanese macaque (*Macaca fuscata*). *Anthropological Science* 102: 43- 56.

Mouri T (1995) Sex differences of the cranial size in macaque species. *Primate Research* 11: 187-196.

Mouri T (1996) Multivariate cranial ontogenetic allometries in Crab-eating, Rhesus and Japanese macaques. *Anthropological Science* 104: 281-303.

Müller KM (1980) Anatomie und Funktion der abführenden Tränenwege. In: Jaeger W (Hrsg.) *Plastische Chirurgie der Lider und Chirurgie der Tränenwege*. München, J.F. Bergmann-Verlag, pp 103-110.

Nakagawa N (1997) Determinants of the dramatic seasonal changes in the intake of energy and protein by Japanese monkeys in a cool temperate forest. *American Journal of Primatology* 41: 267-288.

Narioka J, Ohashi Y (2006) Changes in lumen width of nasolacrimal drainage system after adrenergic and cholinergic stimulation. *American Journal of Ophthalmology* 141: 689-689.

Olver J (2002) Causes of a watery eye. In: Olver J (Eds.) *Colour atlas of lacrimal surgery*. Oxford, Butterworth-Heinemann Medical, pp 28-37.

Paulsen F, Thale AB, Hallmann UJ, Schaudig U, Tillmann BN (2000) The cavernous body of the human efferent tear ducts: function in tear outflow mechanism. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 41: 965-970.

Paulsen F, Föge M, Thale AB, Tillmann BN, Mentlein R (2002) Animal model for the absorption of lipophilic substances from tear fluid by the epithelium of the nasolacrimal ducts. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 43: 3137-3143.

Paulsen F (2003) The human nasolacrimal ducts. *Advances in Anatomy, Embryology and Cell Biology* Volume 170, Heidelberg, Springer.

Paulsen F (2008) Anatomie und Physiologie der ableitenden Tränenwege. *Der Ophthalmologe* 105: 339-345.

Post RH (1969) Tear duct size differences of age, sex and race. *American Journal of Physical Anthropology* 30: 85-88.

Preuschoft H, Witte H, Witzel U (2002) Pneumatized spaces, sinuses and spongy bones in the skulls of primates. *Anthropologischer Anzeiger* 60: 67-79.

Putz R (1971) Anatomy of the orifice of the nasolacrimal duct. *Verhandlungen der Anatomischen Gesellschaft* 65: 377.

Rae TC, Hill RA, Hamada Y, Koppe T (2003) Clinal variation of maxillary sinus volume in Japanese macaques (*Macaca fuscata*). *The American Journal of Primatology* 59: 153-158.

Rae TC, Vidarsdóttir US, Jeffery N, Steegmann AT (2006) Developmental response to cold stress in cranial morphology of *Rattus*: implications for the interpretation of climatic adaptation in fossil hominins. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 273: 2605-2610.

Raikos A, Waidyasekara P, Morrison AK (2015) Surgical and topographic anatomy of the maxillary line: an important landmark for endoscopic nasal surgery. *Annals of Anatomy* 197: 24-28.

Ramey NA, Hoang JK, Richard MJ (2013) Multidetector CT of nasolacrimal canal morphology: normal variation by age, gender, and race. *Ophthalmic Plastic & Reconstructive Surgery* 29: 475-480.

Ravosa M (1991) The ontogeny of cranial sexual dimorphism in two Old world monkeys: *Macaca fascicularis* (Cercopithecinae) and *Nasalis larvatus* (Colobinae). *International Journal of Primatology* 12: 403-426.

Reckzeh F (2011) Vergleichende biometrische Untersuchungen zum Wachstum des Gesichtsschädels der Faszikularisgruppe der Makaken *M. fuscata*, *M. mulatta* und *M. fascicularis*. Med Diss, Greifswald.

Rehorek SJ, Cunningham J, Bruening AE, Johnson JL, Bhatnagar KP, Smith TD, Hillenius WJ (2015) Development of the nasolacrimal apparatus in the Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*), with notes on network topology and function. *Journal of Morphology* 276: 1005-1024.

Rohen JW (1953) Morphologische Studien zur Funktion des Lidapparates beim Menschen. *Gegenbaurs Morphologisches Jahrbuch* 93: 42-97.

Röhler-Ertl O (2006) Über Eigenschaften von Cranial-Maßen bei Primaten-Spezies, insbesondere zur metrischen Alters- und Geschlechtsdiagnose. In: Benecke N (Hrsg.) *Beiträge zur Archäozoologie und Prähistorischen Anthropologie*. Langenweißbach, Beier & Beran, pp. 195-207.

Roos C, Zinner D (2015) Diversity and evolutionary history of macaques which special focus on rhesus and long-tailed macaques. In: Blümel J, Korte S, Schenck E, Weinbauer GF (Eds.) *The Nonhuman Primate in Nonclinical Drug Development and Safety Assessment*. New York, Elsevier. pp 3–16.

Ross C (1996) Adaptive explanation for the origins of the Anthroidea (Primates). *American Journal of Primatology* 40: 205-230.

Ross CF, Ravosa MJ (1993) Basocranial flexion, relative brain size and facial kyphosis in nonhuman primates. *The American Journal of Physical Anthropology* 91: 305-324.

Rossie JB, Ni X, Beard KC (2006) Cranial remains of an Eocene tarsier. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103: 4381-4385.

Rossie JB, Smith TD (2007) Ontogeny of the nasolacrimal duct in primates: functional and phylogenetic implications. *Journal of Anatomy* 210: 195-208.

Rowe N (1996) *The pictorial guide to the living primates*. East Hampton (NY), Pogonias Press.

Santos-Fernandez J (1921) The measurements of the nasal canal according to the race. *American Journal of Ophthalmology* 4: 32-37.

Schröpel M (2012) Bildatlas der Primaten: Feuchtnasenprimaten. BoD–Books on Demand.

Schumacher GH (1968) Der maxillo-mandibuläre Apparat unter dem Einfluß formgestaltender Faktoren. *Nova Acta Leopoldina*, Band 33, Nr. 182. Johann Ambrosius Barth, Leipzig.

Schumacher GH (1991) *Anatomie Lehrbuch und Atlas. Band 1: Kopf, Orofaziales System, Auge, Ohr, Leitungsbahnen* 2. Auflage. Leipzig, Johann Ambrosius Barth.

Schumacher GH (1997) Principles of Skeletal Growth. In: Dixon AD, Hoyte D, Rönning O (Eds.): *Fundamentals of Craniofacial Growth*. CRC Press, Boca Raton, pp 1-20.

Schumacher GH (1999) Regulative and adaptive factors in craniofacial growth. *Annals of Anatomy* 181: 9-13.

Shea BT (1977) Eskimo craniofacial morphology, cold stress and the maxillary sinus. *American Journal of Physical Anthropology* 47: 289-300.

Shea BT (1985) The ontogeny of sexual dimorphism in the African apes. *American Journal of Primatology* 8: 183-188.

Shigeta KI, Takegoshi H, Kikuchi S (2007) Sex and age differences in the bony nasolacrimal canal: an anatomical study. *Archives of Ophthalmology* 125: 1677-1681.

Siebert J, Swindler D (2002) Evolutionary changes in the midface and mandible: establishing the primate form. In: Mooney MP and Siegel MI (Eds.) *Understanding Craniofacial Anomalies: The Etiopathogenesis of Craniosynostoses and Facial Clefting*. New York, Wiley-Liss, pp 345-372.

Sirigu P, Maxia C, Puxeddu R, Zucca I, Piras F, Perra MT (2000) The presence of a local immune system in the upper blind and lower part of the human nasolacrimal duct. *Archives of Histology and Cytology* 63: 431-439.

Sjö LD, Ralfkiaer E, Juhl BR, Prause JU, Kivelä T, Auw-Haedrich C, Ducrey N (2006) Primary lymphoma of the lacrimal sac: an EORTC ophthalmic oncology task force study. *British Journal of Ophthalmology* 90: 1004-1009.

Smith DG, McDonough J (2005) Mitochondrial DNA variation in Chinese and Indian rhesus macaques (*Macaca mulatta*). *American Journal of Primatology* 65: 1-25.

Smith TD, Rossie JB, Bhatnagar KP (2007) Evolution of the nose and nasal skeleton in primates. *Evolutionary Anthropology* 16: 132-146.

Son VD (2003) Diet of *Macaca fascicularis* in a mangrove forest, Vietnam. *Laboratory Primates News* 42: 1-5.

Spasov A, Toro-Ibacache V, Krautwald M, Brinkmeier H, Kupczik K (2017) Congenital muscle dystrophy and diet consistency affect mouse skull shape differently. *Journal of anatomy* 231: 736-748.

Starck D (1984) The nasal cavity and nasal skeleton of *Tarsius*. In: Niemitz C (Ed.) *Biology of Tarsiers*. Stuttgart, Gustav Fischer Verlag, pp 275-290.

Starck D (1995) Säugetiere. *Lehrbuch der Speziellen Zoologie, Band II, Wirbeltiere, Teil 5*. Jena, Gustav Fischer Verlag.

Steinkogler FJ, Burian M, Mayr R, Lischka M (1986) Morphological observations of the nasolacrimal canal. *Orbit* 5: 239-244.

Sullivan DA (1999) Immunology of the lacrimal gland and tear film. In: Pleyer U, Zierhut M, Behrens-Baumann W (Eds.) *Immuno-Ophthalmology Volume 30*. Basel, Karger Publishers, pp 39-53.

Swindler DR, Sirianni JE (1973) Palatal growth rates in *Macaca nemestrina* and *Papio cynocephalus*. American Journal of Physical Anthropology 38:83-92.

Swindler DR (1998) Introduction to the primates. University of Washington Press, Seattle.

Thale A, Paulsen F, Rochels R, Tillmann B (1998) Functional anatomy of the human efferent tear ducts: a new theory of tear outflow mechanism. Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology 236: 674-678.

Truchot P, Offret G, Chauvet P (1952) Normal and pathologic radiography of the lacrimonasal canal. Archives d'ophtalmologie et revue generale d'ophtalmologie 13: 479-489.

Unlü HH, Gövsa F, Mutlu C, Yüçetürk AV, Senyilmaz Y (1997) Anatomical guidelines for intranasal surgery of the lacrimal drainage system. Rhinology 35: 11-15.

Verwoerd CD, Verwoerd-Verhoef HL (2010) Rhinosurgery in children: developmental and surgical aspects of the growing nose. Laryngo-Rhino-Otologie 89: 46-71.

Wegner RN (1936) Sonderbildungen der Kieferhöhle der Anthropoiden. Anatomischer Anzeiger 83: 161–193.

Wolff E (1954) Anatomy of Eye and Orbit, 4th edition. New York, Blakiston Co.

9. Anhang

Tabellen

Tab 9-1. Ergebnisse der Vermessungen des Canalis nasolacimalis von *Macaca fuscata* sowie ausgewählter Schädelmaße.

Spezies- nummer	sex	Alters- gruppe	V NLC R (cm ³)	V NLC L (cm ³)	L NLC R (cm)	L NLC L (cm)	W NLC/HE R (°)	W NLC/HE L (°)	V SMR (cm ³)	SL (cm)	Na-Pr (cm)
Jm 1494	w	infans I	0,009	0,008	0,495	0,469	88,7	89,6	0,046	9,35	3,74
Jm 2696	w	infans I	0,013	0,014	0,369	0,379	84,9	83,2	0,078	9,42	4,07
Jm 3072	w	infans I	0,011	0,008	0,316	0,364	91,2	89,5	0,057	8,81	3,21
Jm 1392	w	infans II	0,018	0,017	0,322	0,4	87,5	88,7	0,188	10,26	4,44
Jm 2717	w	infans II	0,052	0,056	0,389	0,523	90,9	89,7	0,095	9,86	4,24
Jm 2823	w	infans II	0,057	0,054	0,311	0,349	88,4	88,1	0,111	9,83	4,27
Jm 1509	w	juvenile	0,023	0,021	0,669	0,615	83,0	84,5	0,579	11,28	5,1
Jm 2255	w	juvenile	0,054	0,053	0,586	0,626	83,5	82,3	0,123	11,21	5,35
Jm 2930	w	juvenile	0,045	0,060	0,42	0,48	86	85,8	0,128	11,74	5,3
Jm 3507	w	juvenile	0,062	0,044	0,505	0,59	81	83,3	0,193	11,36	5,66
Jm 2701	w	adult	0,040	0,032	0,594	0,478	77,1	80,4	0,455	11,8	6,1
Jm 2812	w	adult	0,074	0,053	0,813	0,821	75,2	72,6	0,33	13,85	7,46
Jm 2998	w	adult	0,046	0,053	0,6	0,611	80,3	82,1	1,042	12,41	6,37
Jm 3180	w	adult	0,033	0,029	0,519	0,569	79,2	80,5	0,597	12,01	6,34
Jm 1793	m	infans I	0,021	0,018	0,315	0,309	88,9	87,2	0,084	9,97	4,41

Fortsetzung der Tabelle 9-1

Spezies- nummer	sex	Alters- gruppe	V NLC R (cm ³)	V NLC L (cm ³)	L NLC R (cm)	L NLC L (cm)	W NLC/HE R (°)	W NLC/HE L (°)	V SMR (cm ³)	SL (cm)	Na-Pr (cm)
Jm 1796	m	infans I	0,017	0,013	0,222	0,289	88,2	89,0	0,084	9,32	4,01
Jm 3071	m	infans I	0,040	0,025	0,327	0,2944	88	89,9	0,024	9,62	3,81
Jm 2707	m	infans II	0,025	0,033	0,293	0,291	88,5	88,6	0,106	10,68	4,7
Jm 2825	m	infans II	0,025	0,028	0,376	0,333	86,2	85,3	0,367	10,91	5
Jm 2488	m	juvenile	0,034	0,033	0,493	0,473	82,9	82,7	0,624	11,39	5,83
Jm 2809	m	juvenile	0,045	0,040	0,43	0,477	78,6	75,1	0,375	11,73	5,53
Jm 2946	m	juvenile	0,030	0,024	0,426	0,432	85,7	82,4	0,235	11,1	5,3
Jm 2984	m	juvenile	0,044	0,046	0,522	0,469	82,2	80,2	0,296	11,5	5,99
Jm 2933	m	adult	0,080	0,090	0,61	0,589	77,6	75,8	0,487	13,7	6,69
Jm 2948	m	adult	0,066	0,071	0,62	0,583	74	71,4	1,416	13,86	7,57
Jm 2971	m	adult	0,053	0,054	0,501	0,531	81,4	79,5	0,752	13,32	6,31
Jm 3189	m	adult	0,070	0,091	0,726	0,728	79,9	82,9	0,716	13,49	7,11
Jm 3332	m	adult	0,104	0,109	0,672	0,713	69,3	62,1	1,583	14,19	7,92

V NLC R: Volumen des rechten Canalis nasolacimalis, V NLC L: Volumen des linken Canalis nasolacimalis, L NLC R: Länge des rechten Canalis nasolacimalis, L NLC L: Länge des linken Canalis nasolacimalis, W NLC/HE R: Winkel zwischen der Achse des rechten Canalis nasolacimalis und der Horizontalebene, W NLC/HE L: Winkel zwischen der Achse des linken Canalis nasolacimalis und der Horizontalebene, V SMR: Volumen des rechten Sinus maxillaris, SL: Schädellänge, Na-Pr: Gesichtsschädelhöhe.

Tab 9-2: Ergebnisse der Vermessungen des Canalis nasolacrimalis von *Macaca fuscata* lokaler Populationen sowie ausgewählter Schädelmaße.

Spezies- nummer	V NLC R (cm ³)	V NLC L (cm ³)	L NLC R (cm)	L NLC L (cm)	W NLC/HE R (°)	W NLC/HE L (°)	Index NLC R	Index NLC L	V SMR (cm ³)	SL (cm)
<i>M.fuscata</i> - Shimokita										
Mf S 1	0,0333	0,01	0,393	0,01	80,82	76,65	0,023	0,009	0,725	13,375
Mf S 2	0,0748	0,078	0,499	0,078	77,27	78,72	0,043	0,045	0,381	13,21
Mf S 3	0,0762	0,051	0,378	0,051	78,42	81,08	0,045	0,030	0,396	13,466
Mf S 7	0,0433	0,034	0,543	0,034	79,38	77,28	0,029	0,023	0,057	12,782
Mf S 8	0,0420	0,021	0,495	0,021	82,93	85,55	0,029	0,015	0,519	12,191
Mf S 9	0,0277	0,025	0,402	0,025	73,08	77,27	0,019	0,017	0,071	12,466
Mf S 10	0,0435	0,066	0,587	0,066	75,25	78,82	0,026	0,040	0,032	13,226
Mf S 11	0,0269	0,035	0,504	0,035	79,02	83,2	0,016	0,021	0,094	13,35
<i>M.fuscata</i> - Kinkazan										
Mf K 2	0,1175	0,0862	0,794	0,706	87,6	88,25	0,073	0,053	0,109	13,658
Mf K 6	0,0506	0,0567	0,606	0,626	82,81	80,88	0,029	0,033	0,185	13,632
Mf K 10	0,0442	0,0364	0,597	0,598	82,99	81,84	0,039	0,032	0,177	11,797
Mf K 15	0,0513	0,0397	0,415	0,426	75,91	80,35	0,045	0,035	0,058	11,832
Mf K 24	0,0544	0,0351	0,578	0,51	85,11	83,55	0,050	0,032	0,239	11,949
Mf K 62	0,0203	0,0221	0,635	0,694	83,29	86,54	0,019	0,020	0,065	11,965

Fortsetzung der Tabelle 9-2

Spezies- nummer	V NLC R (cm ³)	V NLC L (cm ³)	L NLC R (cm)	L NLC L (cm)	W NLC/HE R (°)	W NLC/HE L (°)	Index NLC R	Index NLC L	V SMR (cm ³)	SL (cm)
Mf K 64	0,0777	0,0734	0,71	0,791	80,26	78,84	0,053	0,050	0,047	13,096
Mf K 69	0,0703	0,0592	0,508	0,488	80,84	81,08	0,048	0,040	0,191	12,831
<i>M.fuscata</i> - Shodoshima										
1407	0,045	0,047	0,461	0,488	78,55	81,35	0,024	0,025	0,68	12,912
1408	0,048	0,039	0,403	0,415	79,57	77,51	0,023	0,022	0,7	13,717
1416	0,037	0,041	0,417	0,365	75,03	78,85				13,006
1421	0,038	0,039	0,399	0,376	79,99	75,19	0,022	0,022	0,648	13,315
1437	0,066	0,052	0,36	0,45	80,83	76,44	0,034	0,028	0,85	13,577
1446	0,066	0,071	0,398	0,418	73,09	78,78	0,036	0,039	0,29	13,50
1464	0,038	0,062	0,488	0,495	86,62	83,14	0,021	0,034	0,294	13,37
<i>M.fuscata</i> - Koshima										
Boose	0,060	0,050	0,617	0,688	73,47	70,43	0,096	0,038	0,031	13,658
Geshi	0,047	0,059	0,626	0,619	72,5	69,6	0,079	0,028	0,035	13,578
Hie	0,053	0,048	0,438	0,426	87,46	85,27	0,053	0,052	0,048	11,712
tau37	0,024	0,023	0,539	0,564	76,26	80,13	0,022	0,025	0,024	11,617

Fortsetzung der Tabelle 9-2

Spezies- nummer	V NLC R (cm ³)	V NLC L (cm ³)	L NLC R (cm)	L NLC L (cm)	W NLC/HE R (°)	W NLC/HE L (°)	Index NLC R	Index NLC L	V SMR (cm ³)	SL (cm)
Ume	0,050	0,041	0,522	0,578	88,73	82,25	0,039	0,032	0,269	12,276
Usagi	0,040	0,038	0,513	0,511	84,79	87,79	0,028	0,026	0,517	13,12
<i>M. fuscata</i> - Yakushima										
Mf Ya 2584	0,072	0,061	0,598	0,598	77,73	71,61	0,050	0,042	1,107	13,482
Mf Ya 2585	0,071	0,073	0,537	0,537	60,96	66,83	0,056	0,058	0,932	12,103
Mf Ya 2586	0,061	0,049	0,372	0,372	69,01	65,67	0,047	0,038	1,503	12,841
Mf Ya 2588	0,085	0,093	0,514	0,514	71,65	74,81	0,070	0,076	1,565	12,765
Mf Ya 2596	0,036	0,025	0,408	0,408	76,08	76,19	0,036	0,023	0,665	11,443
Mf Ya 2597	0,043	0,038	0,453	0,453	85,72	91,35	0,044	0,039	1,403	11,497
Mf Ya 3958	0,019	0,021	0,407	0,407	75,48	70,17	0,020	0,022	0,37	11,24
Mf Ya 4461	0,044	0,045	0,448	0,448	67,96	67,89	0,042	0,043	0,64	11,714

V NLC R: Volumen des rechten Canalis nasolacrimalis, V NLC L: Volumen des linken Canalis nasolacrimalis, L NLC R: Länge des rechten Canalis nasolacrimalis, L NLC L: Länge des linken Canalis nasolacrimalis, W NLC/HE R: Winkel zwischen der Achse des rechten Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene, W NLC/HE L: Winkel zwischen der Achse des linken Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene, Index NLC R: Index des rechten Canalis nasolacrimalis, Index NLC L: Index des linken Canalis nasolacrimalis, V SMR: Volumen des rechten Sinus maxillaris, SL: Schädellänge.

Tab.9-3: Ergebnisse der Vermessungen des Canalis nasolacrimalis der Faszikularis-Gruppe sowie ausgewählter Schädelmaße.

Spezies- nummer	V NLC R (cm ³)	V NLC L (cm ³)	L NLC R (cm)	L NLC L (cm)	W NLC/HE R (°)	W NLC/HE L (°)	V SMR (cm ³)	SL (cm)
<i>M. cyclopis</i>								
mc1511	0,050	0,044	0,712	0,733	64,43	58,65	2,2	11,98
mc302	0,080	0,066	0,408	0,515	87,41	83,29	2,17	11,67
mc3852	0,066	0,069	0,519	0,685	72,73	74,26	3,01	11,8
mc4233	0,094	0,083	0,479	0,533	74,08	74	3,97	13,07
mc4486	0,072	0,064	0,559	0,606	71,11	79,48	2,83	12,03
mc4532	0,056	0,057	0,648	0,52	80,35	77,88	1,348	12,65
mc5150	0,048	0,064	0,615	0,539	88,5	87,53	1,021	10,35
mcycl2514	0,064	0,046	0,684	0,517	93,36	84,63	3,677	12,32
<i>M. fascicularis</i>								
mfa1399	0,037	0,031	0,718	0,657	66,32	61	1,27	10,89
mfa1481	0,084	0,041	0,522	0,499	70,96	69,77	1,37	11,2
mfa2513	0,046	0,052	0,551	0,483	75,63	71,87	2,95	12,25
mfa286	0,037	0,038	0,543	0,577	84,23	88,63	0,96	10,8
mfa3625	0,028	0,029	0,481	0,462	74,37	77,55	0,79	9,79
mfa3630	0,032	0,026	0,441	0,336	69,3	66,29	0,7	10,08

Fortsetzung der Tabelle 9-3

Spezies- nummer	V NLC R (cm ³)	V NLC L (cm ³)	L NLC R (cm)	L NLC L (cm)	W NLC/HE R (°)	W NLC/HE L (°)	V SMR (cm ³)	SL (cm)
mfa422	0,070	0,054	1,024	0,932	64,39	69,91	3,698	11,64
<i>M.mulatta</i>								
mm1524	0,015	0,015	0,37	0,36	82,72	81,3	2,24	12,29
mm1723	0,043	0,050	0,404	0,492	85,34	86,64	1,18	12,05
mm218	0,064	0,053	0,342	0,403	77,35	75,7	0,73	12,13
mm2193	0,062	0,068	0,709	0,62	73,98	77,91	0,86	12,23
mm2200	0,046	0,043	0,346	0,322	87,11	89,31	0,63	12,21
mm2753	0,041	0,033	0,343	0,373	81,99	80,72	1,73	12,09
mm3548	0,040	0,036	0,551	0,476	71,36	77,03	3,117	12,29
mm3553	0,044	0,043	0,633	0,595	73,43	75,38	4,836	13,03
mm5049	0,037	0,028	0,282	0,328	68,18	68,11	0,499	10,98
mm580	0,063	0,044	0,401	0,405	83,22	82,41	4,716	13,79
<i>M.fuscata</i>								
jm2701	0,040	0,032	0,594	0,478	77,1	80,4	0,455	11,8
jm2812	0,074	0,053	0,813	0,821	75,2	72,6	0,33	13,85

Fortsetzung der Tabelle 9-3

Spezies- nummer	V NLC R (cm ³)	V NLC L (cm ³)	L NLC R (cm)	L NLC L (cm)	W NLC/HE R (°)	W NLC/HE L (°)	V SMR (cm ³)	SL (cm)
jm2933	0,080	0,090	0,61	0,589	77,6	75,8	0,487	13,7
jm2948	0,066	0,071	0,62	0,583	74	71,4	1,416	13,86
jm2998	0,046	0,053	0,6	0,611	80,3	82,1	1,042	12,41
jm3180	0,033	0,029	0,519	0,569	79,2	80,5	0,597	12,01
jm3189	0,070	0,091	0,726	0,728	79,9	82,9	0,716	13,49
jm3332	0,104	0,109	0,672	0,713	69,3	62,1	1,583	14,19

V NLC R: Volumen des rechten Canalis nasolacrimalis, V NLC L: Volumen des linken Canalis nasolacrimalis, L NLC R: Länge des rechten Canalis nasolacrimalis, L NLC L: Länge des linken Canalis nasolacrimalis, W NLC/HE R: Winkel zwischen der Achse des rechten Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene, W NLC/HE L: Winkel zwischen der Achse des linken Canalis nasolacrimalis und der Horizontalebene, V SMR: Volumen des rechten Sinus maxillaris, SL: Schädellänge.

Tab. 9-4: Univariate Varianzanalyse zum Vergleich der Geradensteigung der männlichen und weiblichen Rotgesichtsmakaken.

Abhängige Variable: V NLC R					
Quellendaten	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	Varianz	Signifikanz
korrigiertes Modell	0,009*	3	0,003	15,708	0,000
Konstanter Term	0,004	1	0,004	18,432	0,000
Geschlecht	0,000	1	0,000	1,222	0,280
SL	0,008	1	0,008	39,888	0,000
Geschlecht*SL	0,000	1	0,000	1,187	0,286
Fehler	0,005	25	0,000		
Gesamt	0,067	29			
Korrigierte Gesamtvariation	0,014	28			

V NLC R: Volumen Canalis nasolacrimalis rechts, SL: Schädellänge, df: Freiheitsgrade

* $R^2 = 0,653$ (korrigiertes $R^2 = 0,612$)

Tab. 9-5: Univariate Varianzanalyse zum Vergleich der Geradensteigung der männlichen und weiblichen Rotgesichtsmakaken.

Abhängige Variable: L NLC R					
Quellendaten	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	Varianz	Signifikanz
korrigiertes Modell	0,477*	3	0,159	29,163	0,000
Konstanter Term	0,014	1	0,014	2,527	0,124
Geschlecht	0,009	1	0,009	1,647	0,211
NaPr	0,458	1	0,458	84,051	0,000
Geschlecht*NaPr	0,002	1	0,002	0,309	0,583
Fehler	0,136	25	0,005		
Gesamt	7,173	29			
Korrigierte Gesamtvariation	0,613	28			

L NLC R: Länge Canalis nasolacrimalis rechts, NaPr: Gesichtsschädelhöhe, df: Freiheitsgrade

* $R^2 = 0,778$ (korrigiertes $R^2 = 0,751$)

Tab. 9-6: Univariate Varianzanalyse zum Vergleich der Geradensteigung der männlichen und weiblichen Rotgesichtsmakaken.

Abhängige Variable: W NLC/HE R					
Quellendaten	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	Varianz	Signifikanz
korrigiertes Modell	702,338*	3	234,113	52,304	0,000
Konstanter Term	14702,707	1	14702,707	3284,797	0,000
Geschlecht	1,994	1	1,994	0,446	0,511
NaPr	672,371	1	672,371	150,217	0,000
Geschlecht*NaPr	1,067	1	1,067	0,238	0,630
Fehler	111,9	25	4,476		
Gesamt	201692,34	29			
Korrigierte Gesamtvariation	814,238	28			

W NLC/HE R: Winkel zwischen der Achse des Canalis nasolacimalis rechts und der Horizontalebene, NaPr: Gesichtsschädelhöhe, df: Freiheitsgrade

* $R^2 = 0,863$ (korrigiertes $R^2 = 0,846$)

Tab. 9-7: Ergebnisse der Faktorenanalyse.

Faktor	Eigenwert	Differenz	Proportion	Kumulativ
1	11,17338	10,54143	0,8471	0,8471
2	0,63195	0,04048	0,0479	0,8950
3	0,59148	0,14579	0,0448	0,9398
4	0,44569	0,25754	0,0338	0,9736
5	0,18815	0,05281	0,0143	0,9879
6	0,13534	0,05662	0,0103	0,9981
7	0,07872	0,03880	0,0060	1,0041
8	0,03992	0,03792	0,0030	1,0071
9	0,00200	0,00546	0,0002	1,0073
10	-0,00346	0,00630	-0,0003	1,0070
11	-0,00976	0,00647	-0,0007	1,0063
12	-0,1623	0,01324	-0,0012	1,0050
13	-0,02947	0,00749	-0,0022	1,0028
14	-0,03697		-0,0028	1,000

Tab. 9-8: Ergebnisse des Rotationsverfahrens zur Interpretationshilfe der Faktorenanalyse aus Tabelle 9-7.

Variable	Factor1	Uniqueness
V NLC R	0,8395	0,2952
V NLC L	0,8246	0,3200
SL	0,9835	0,0328
Na-Ba	0,9565	0,0851
Na-Pr	0,9809	0,0377
V SMR	0,7906	0,3750
GL	0,9254	0,1436
GB	0,9224	0,1492
MAB	0,9458	0,1056
BOB	0,8238	0,3214
L NLC R	0,8409	0,2928
L NLC L	0,8207	0,3265
W NLC/HE R	-0,9341	0,1274
W NLC/HE L	-0,8863	0,2144

V NLC R: Volumen des rechten Canalis nasolacimalis, V NLC L: Volumen des linken Canalis nasolacimalis, SL: Schädellänge, Na-Ba: Schädelbasislänge, Na-Pr: Gesichtsschädelhöhe, V SMR: Volumen des rechten Sinus maxillaris, GL: Gaumenlänge, GB: Gaumenbreite, MAB: Maxilloalveolarbreite, BOB: Biorbitalbreite, L NLC R: Länge des rechten Canalis nasolacimalis, W NLC/HE R: Winkel zwischen der Achse des rechten Canalis nasolacimalis und der Horizontalebene, W NLC/HE L: Winkel zwischen der Achse des linken Canalis nasolacimalis und der Horizontalebene.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät, keiner anderen wissenschaftlichen Einrichtung vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und dass eine Aberkennung eines bereits vorliegenden Doktorgrades nicht vorliegt.

Datum Unterschrift

Danksagung

Besonders herzlich möchte ich mich bei meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. med. Thomas Koppe, wissenschaftlicher Oberassistent am Institut für Anatomie und Zellbiologie der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, für die Vergabe des Themas und seine geduldige Betreuung bedanken. Er stellte mir einen Großteil der Schädelknochen und die Röntgenaufnahmen des Primate Research Institute, Kyoto University Japan zur Verfügung. Ohne seine menschliche und inhaltliche Unterstützung wäre eine Fertigstellung dieser Dissertation nicht möglich gewesen.

Weiterhin bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. Karlhans Endlich, Direktor des Instituts für Anatomie und Zellbiologie der Universitätsmedizin der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald für die Ermöglichung der Arbeit am Institut.

Ich danke Herrn Dr. Christian Schwahn, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald für die Hilfe bei dem statistischen Vergleich der Primatengruppen.

Bei Herrn Tobias Seidel und Frau Dr. Linda Bremer bedanke ich mich für die vielen aufmunternden Worte und das Korrekturlesen meiner Doktorarbeit.

Widmen möchte ich diese Arbeit meinen Eltern, die mich während des gesamten Studiums tatkräftig unterstützt haben und stets an mich glaubten. Ihnen gilt ein ganz besonderer Dank.